

VŠB-Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra konstrukcí

Jednolodní výrobní hala z materiálů na bázi dřeva  
Single floor production hall made of wooden - based materials

Student:

Bc. Pavel Dobeš

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Dobeš**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: Jednolodní výrobní hala z materiálů na bázi dřeva  
Single floor production hall made of wooden – based materials

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce vypracujte:

1. Vypracujte stručnou rešerši nosných systémů výrobních jednolodních hal bez jeřábů z materiálů na bázi dřeva.
2. Navrhněte dispoziční řešení výrobní haly bez jeřábu s dřevěnou nosnou konstrukcí o půdorysných rozměrech min. 25×60 m.
3. Navrhněte tři varianty nosného systému haly z materiálů na bázi dřeva.
4. Pro zvolenou optimální variantu zpracujte návrh a posouzení vybraných rozhodujících nosných prvků a spojů, včetně ztužení haly a možného způsobu založení.
5. Zpracujte výkresovou dokumentaci pro stavební řízení (půdorys, řezy, pohledy, detaily) ve vhodném měřítku.
6. Posuďte požární odolnost rozhodujících nosných prvků.
7. Navrhněte způsob montáže nosného systému haly.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) ČSN EN 1995-1-1: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 2) ČSN EN 1995-1-2: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- 3) Blass, H. J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle EUROKÓDU 5. STEP 1. Navrhování a konstrukční materiály. Vydal Koželouh, B. – KODR Zlín, 1998.
- 4) Blass, H. J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle EUROKÓDU 5. STEP 2. Navrhování detailů a nosných systémů. Vydal Informační centrum ČKAIT, 2004.
- 5) Natterer, J. O. et al., Holzbau Atlas, Birkhauser – Verlag für Architektur, 2003, Basel, Schweiz, ISBN 3-7643-6984-1
- 6) Příručka 1 a 2, <http://fast10.vsb.cz/temtis/cz>, 2008.
- 7) Dřevostavby a dřevěné konstrukce I. a II. díl, CERM Akademické nakladatelství Brno, 2010.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30. listopadu 2016

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 30. listopadu 2016

.....

podpis studenta

## **Anotace**

Název tématu: Jednolodní výrobní hala z materiálů na bázi dřeva

Autor: Bc. Pavel Dobeš

Vedoucí práce: doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Počet stran: 144

Diplomová práce se zabývá návrhem výrobní haly z materiálů na bázi dřeva. Je zde představeno několik konstrukčních variant, z nichž jedna je na základě vzájemného srovnání vybrána a následně podrobně zpracována. Zpracování obsahuje dispoziční návrh haly, výpočet zatížení, návrh a posudek nosných prvků konstrukce, návrh a posudek vybraných spojů nosných prvků a posudek požární odolnosti. Konstrukce je doplněna příslušnou výkresovou dokumentací.

## **Klíčová slova**

Hala, dřevo, konstrukce, prvek, spoj, rámový roh, zatížení, návrh, posudek, norma

## **Annotation**

Topic: Single floor production hall made of wooden - based materials

Author: Bc. Pavel Dobeš

Supervisor: doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Number of pages: 144

The Diploma thesis deals with a single floor production hall made of wooden - based materials. Several structural variants are introduced in the thesis, one of which is selected and processed on the basis of the comparison. Processing includes layout design of the hall, load calculation, design and assessment of elements of the structure, design and assessment of selected joints of the supporting elements and fire resistance assessment. The design is complemented by appropriate drawing documentation.

## **Keywords**

Hall, wood, structure, element, joint, knee of frame, load, design, assessment, standard

# OBSAH

<b>OBSAH.....</b>	<b>7</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>2 ROZDĚLENÍ KONSTRUKČNÍCH SYSTÉMŮ HALOVÝCH OBJEKTŮ .....</b>	<b>12</b>
2.1 VAZNÍKOVÉ (NOSNÍKOVÉ) SOUSTAVY .....	12
2.1.1 Plnostěnné vazníky.....	12
2.1.2 Příhradové vazníky .....	14
2.1.3 Spoje prvků - desky s prolisovanými trny .....	14
2.2 RÁMOVÉ SOUSTAVY .....	15
2.2.1 Plnostěnné rámy.....	16
2.2.2 Plnostěnné oblouky .....	18
2.3 PŘÍKLADY VÝROBNÍCH HAL ZE DŘEVA.....	18
<b>3 VARIANTY .....</b>	<b>20</b>
3.1 VARIANTA A.....	20
3.2 VARIANTA B .....	22
3.3 VARIANTA C .....	24
3.4 POROVNÁNÍ VARIANT .....	25
<b>4 DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>27</b>
<b>5 GLOBÁLNÍ ANALÝZA KONSTRUKCE.....</b>	<b>30</b>
5.1 VÝPOČET ZATÍŽENÍ .....	30
5.1.1 Vlastní tíha.....	30
5.1.2 Stálé zatížení.....	30
5.1.3 Užité zatížení .....	31
5.1.4 Zatížení sněhem.....	31
5.1.5 Zatížení větrem.....	32
5.2 ZATĚŽOVACÍ STAVY.....	35
5.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ .....	36
5.4 VÝPOČETNÍ MODEL .....	36
<b>6 POSUDEK ROZHODUJÍCÍCH NOSNÝCH PRVKŮ A ZTUŽENÍ.....</b>	<b>38</b>
6.1 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY .....	38
6.2 POSUDEK PRVKŮ.....	39
6.2.1 Rám.....	42

6.2.2	<i>Rozpěra</i> .....	45
6.2.3	<i>Ztužidlo</i> .....	45
6.2.4	<i>Vaznice</i> .....	45
6.2.5	<i>Paždík</i> .....	46
6.2.6	<i>Štítová stěna</i> .....	47
6.2.7	<i>Ostatní prvky</i> .....	48
<b>7</b>	<b>POSUDEK SPOJŮ</b> .....	<b>49</b>
7.1	PRAVIDLA PRO SVORNÍKOVÉ SPOJE .....	49
7.2	PRAVIDLA PRO ČEPOVÉ SPOJE .....	52
7.3	PRAVIDLA PRO SVAROVÉ SPOJE .....	54
7.4	POSUDEK SPOJŮ .....	55
7.4.1	<i>Rámový roh</i> .....	55
7.4.2	<i>Patní kloub</i> .....	59
7.4.3	<i>Základová patka</i> .....	61
7.4.4	<i>Vrcholový kloub</i> .....	64
7.4.5	<i>Přípoj rozpěry a táhla</i> .....	65
7.4.6	<i>Ostatní spoje</i> .....	67
<b>8</b>	<b>POŽÁRNÍ ODOLNOST</b> .....	<b>69</b>
8.1	CHOVÁNÍ DŘEVA ZA POŽÁRU .....	69
8.2	NAVRHOVÁNÍ NA ÚČINKY POŽÁRU .....	69
8.2.1	<i>Metoda redukovaného průřezu</i> .....	70
8.2.2	<i>Metoda redukovaných vlastností</i> .....	71
8.3	POSUDEK PRVKŮ.....	71
8.3.1	<i>Dřevěné prvky</i> .....	72
8.3.2	<i>Ztužidlo</i> .....	72
8.4	POSUDEK SPOJŮ .....	73
<b>9</b>	<b>ZPŮSOB MONTÁŽE</b> .....	<b>74</b>
<b>10</b>	<b>STATICKÝ VÝPOČET</b> .....	<b>75</b>
10.1	VARIANTA A .....	75
10.1.1	<i>Výpočet zatížení</i> .....	75
10.1.2	<i>Posudek prvků</i> .....	81
10.1.3	<i>Posudek spojů</i> .....	93
10.1.4	<i>Posudek požární odolnosti</i> .....	117
10.2	VARIANTA B .....	126



10.2.1	<i>Výpočet zatížení.....</i>	126
10.2.2	<i>Posudek prvků .....</i>	131
10.3	VARIANTA C .....	135
10.3.1	<i>Výpočet zatížení.....</i>	135
10.3.2	<i>Posudek prvku .....</i>	137
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>140</b>
	<b>ZDROJE .....</b>	<b>141</b>
	<b>SOFTWARE .....</b>	<b>143</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>144</b>

# 1 ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá návrhem jednolodní výrobní haly z materiálů na bázi dřeva. Celá práce je rozčleněna do 11 kapitol včetně úvodu a závěru.

V druhé kapitola je shrnuta rešerše konstrukčních systémů, které se běžně používají u halových staveb z materiálů na bázi dřeva. Jednotlivé konstrukční systémy jsou přehledně rozděleny do několika podkapitol. Jedna z podkapitol se mimo jiné zaměřuje na vybrané výrobní haly s nosnou konstrukcí ze dřeva.

Třetí kapitola řeší variantní návrh jednolodní výrobní haly na bázi dřeva. Jsou zde představeny 3 varianty lišící se od sebe typem konstrukce příčné vazby. Jednotlivé varianty jsou vzájemně porovnány podle několika kritérií, následně čehož je jedna z variant vybrána a podrobněji zpracována v dalších částech práce.

Čtvrtá kapitola obsahuje dispoziční řešení zvolené varianty jednolodní výrobní haly. Je zde podrobněji popsána řešená výrobní hala včetně jejího dispozičního rozvržení. K této části je přiložena i výkresová dokumentace pro stavební řízení.

Pátá kapitola se zabývá globální analýzou konstrukce, kdy jsou stanovena veškerá zatížení, která mohou na konstrukci během doby její životnosti působit. V rámci kapitoly je také popsán 3D výpočetní model vytvořený ve statickém softwaru Scia Engineer 15.2, kde jsou zohledněny zásadní kombinace zatěžovacích stavů a následně proveden nelineární výpočet.

Šestá kapitola řeší návrh a posudek nosných prvků konstrukce na základě vnitřních sil vypočtených ve statickém softwaru. Důraz je kladen na hospodárný a bezpečný návrh nosné konstrukce dle mezního stavu únosnosti (dále jen MSÚ) i mezního stavu použitelnosti (dále jen MSP).

Sedmá kapitola se zabývá návrhem a posudkem vybraných spojů nosných prvků a možného způsobu založení. Kapitola také obsahuje 3D vizualizace některých spojů vytvořených v programu AutoCAD 2014.

Osmá kapitola řeší posudek nosných prvků při mimořádné požární situaci. U posudků prvků jsou pro možné srovnání použity oba normové postupy (metoda redukovaného průřezu a metoda redukovaných vlastností). Prvky jsou navrženy na požární odolnost R30.

Devátá kapitola popisuje způsob montáže nosného systému haly od založení objektu až po konstrukci střechy.

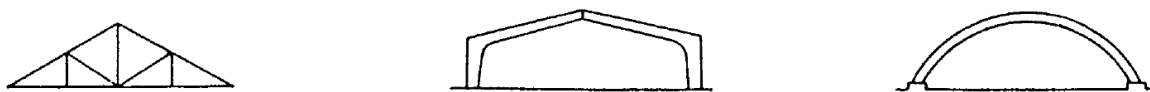
Desátá kapitola zahrnuje samotný statický výpočet, a to nejen detailní statický výpočet (stanovení zatížení, posudek prvků, posudek spojů, posudek požární odolnosti prvků) zvolené varianty, ale i zjednodušený statický výpočet nezvolených variant pro předběžný

návrh dimenzí příčné vazby a možné porovnání jednotlivých variant navzájem. Statický výpočet je proveden tabulkovou formou pomocí programu Microsoft Excel 2010 na základě vztahů a postupů uvedených v kapitolách 5 až 8.

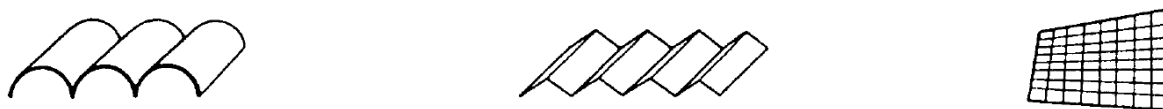
Veškeré značení neznámých veličin spolu s příslušnými fyzikálními jednotkami je uvedeno v rámci statického výpočtu v kapitole 10 a odpovídá zavedeným značkám v užitých normách či odborné literatuře.

## 2 ROZDĚLENÍ KONSTRUKČNÍCH SYSTÉMŮ HALOVÝCH OBJEKTŮ

Dřevěné konstrukce halových objektů rozdělujeme na 2 základní skupiny: rovinné a prostorové. Rovinné dřevěné konstrukce (obrázek 2.1) přenáší jen zatížení, které působí v jejich rovině. Zatížení působící kolmo na jejich rovinu je poté přenášeno do základů pomocí ztužidel (zavětrování) konstrukce. Naproti tomu prostorové dřevěné konstrukce (obrázek 2.2) přenáší zatížení působící v libovolném směru až do základů, popřípadě ukotvení konstrukce [1].



Obrázek 2.1 – Rovinné dřevěné konstrukce (Zdroj: [1])



Obrázek 2.2 – Prostorové dřevěné konstrukce (Zdroj: [1])

Pro zastřešení halových staveb jsou v dřtivé většině případů užívány rovinné dřevěné soustavy, které se dále dělí na vazníkové soustavy, kde se uplatňují plnostěnné či příhradové vazníky, a rámové soustavy, kde je možné se setkat s plnostěnnými a příhradovými rámy a také plnostěnnými a příhradovými oblouky [1].

### 2.1 Vazníkové (nosníkové) soustavy

Vazníky (nosníky) jsou nejjednodušším a nejpoužívanějším typem rovinné dřevěné konstrukce. Jedná se o horizontální nosné konstrukční prvky, jež jsou uloženy na vertikální nosné konstrukční prvky (tj. stěny a sloupy). Ze statického hlediska mohou působit jako prosté, spojitě či s převislými konci. Z konstrukčního hlediska, jak již bylo naznačeno výše, rozlišujeme vazníky plnostěnné a příhradové. Prostorovou stabilitu nosné konstrukce, která vznikne spojením vazníků se sloupy, je nutné zajistit ztužidly [1].

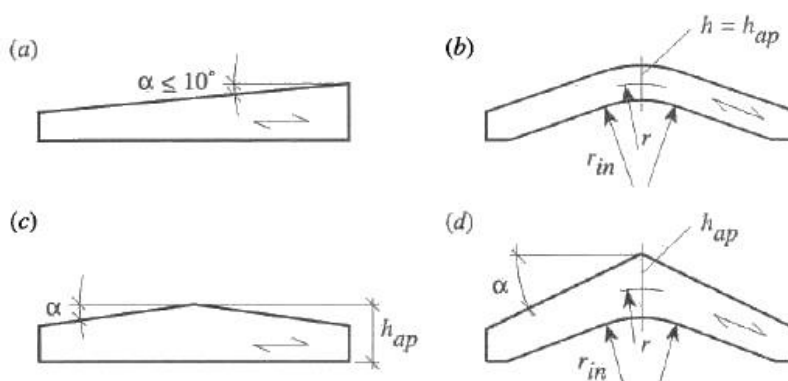
#### 2.1.1 Plnostěnné vazníky

Plnostěnné vazníky z lepeného lamelového dřeva jsou prováděny s proměnnou výškou a přímým či zakřiveným dolním okrajem, buď aby odpovídaly architektonickým

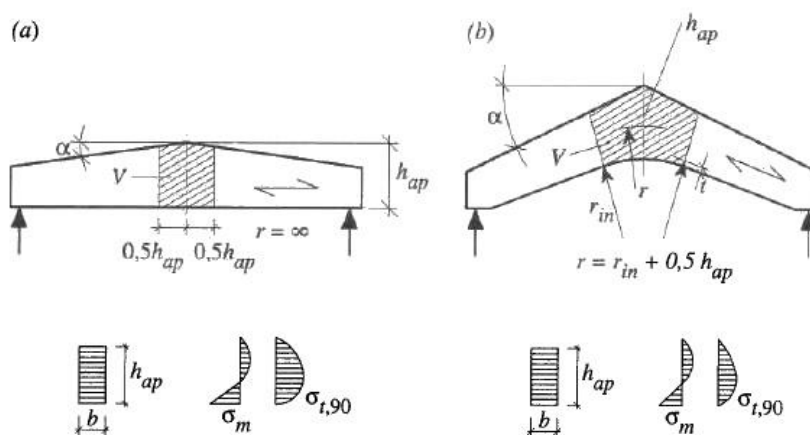
požadavkům nebo pro vytvoření sedlových střech. V praxi se můžeme setkat s pultovými nosníky, zakřivenými nosníky konstantní výšky a sedlovými nosníky s přímým či zakřiveným dolním okrajem (viz obrázek 2.3). U těchto nosníků se s ohledem na způsob výroby a tvar prvku objevují oblasti s přerýzanými vlákny v tlacené části nosníku tak, aby lamely v tažené části probíhaly rovnoběžně s okrajem nosníku, nebo vrcholové oblasti se zakřivenými lamelami či bez zakřivení [2].

U dřevěných vazníků dochází vlivem dotvarování dřeva ke zvětšování průhybu, tudíž se často vyrábějí s nadvýšením. Jestliže se nosník nadvýší nebo vyklene, vznikají v něm přidavná radiální napětí, která mají tendenci jej roztrhnout (tah kolmo na vlákna), což musí být při návrhu patřičně zohledněno [1].

Z důvodu rozdílné délky vnitřních a vnějších vláken u zakřivených nosníků (při respektování Bernoulliho hypotézy o zachování rovinnosti průřezu) jsou rovněž rozdílná poměrná přetvoření, potažmo napětí. Z toho vyplývá nelineární hyperbolické rozdělení napětí po výšce průřezu (viz obrázek 2.4). Největší ohybová napětí potom působí na vnitřním okraji vrcholového průřezu [2].



Obrázek 2.3 – Vazníky: a) pultový; b) zakřivený stálé výšky; c) sedlový s přímým dolním okrajem, d) sedlový se zakřiveným dolním okrajem (Zdroj: [2])



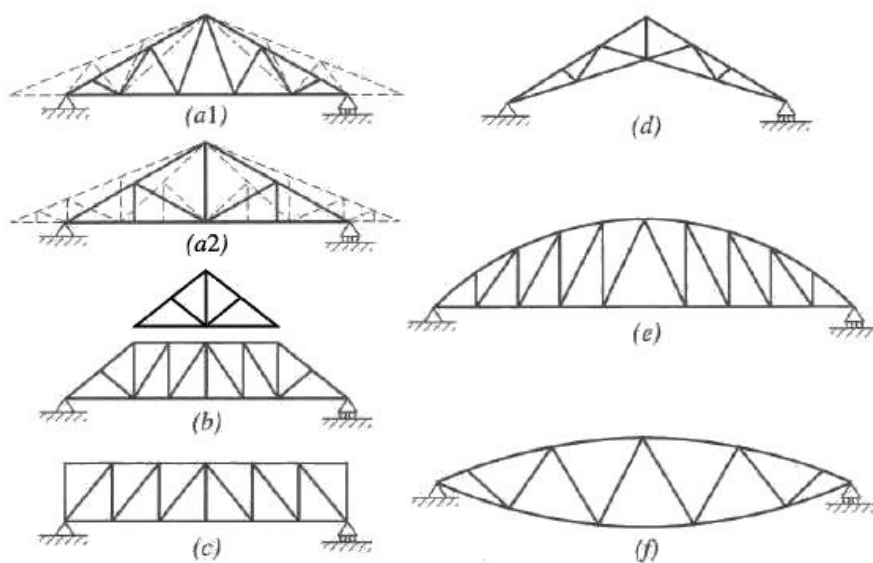
Obrázek 2.4 - Rozdělení napětí ve vrcholovém průřezu pro: a) sedlové nosníky s přímým dolním okrajem; b) sedlové nosníky se zakřiveným dolním okrajem (Zdroj: [2])

### 2.1.2 Příhradové vazníky

Příhradové vazníky jsou význačné tím, že naproti plnostěnným vazníkům mají větší konstrukční výšku a jsou náročnější na provedení spojů ve styčnicích. Při globální analýze a určování normálových sil, přídatných ohybových momentů a průhybů je kladen důraz na volbu statického modelu příhradového vazníku s ohledem na průběžnost spodního pásu a excentricity ve styčnicích [1].

Je běžné, že pásové pruty jsou vyrobeny z jednoho prvku a probíhají přes několik polí. Spojovací prostředky zajišťují ve styčnicích vždy určité vetknutí, tudíž nelze počítat s dokonalými klouby (tento fakt se často zanedbává). Krom toho výška průřezu a rozměry spojovacích prostředků mohou vést k excentricitám v přípojích stykovaných prutů [2].

Nejčastěji používaným tvarem je trojúhelníkový vazník. Uspořádání mezipásových prutů je třeba volit s ohledem na dimenzování prvků a spojů. Co se týká tvaru, lze s respektováním prefabrikace a způsobu přepravy vytvořit nepřeberné množství typů příhradových vazníků (viz obrázek 2.5) [2].



Obrázek 2.5 – Tvary příhradových vazníků: a) trojúhelníkový; b) složený trojúhelníkový; c) přímopásový; d) nůžkový; e) obloukový; f) čočkovitý (Zdroj: [2])

### 2.1.3 Spoje prvků - desky s prolisovanými trny

Dřevěné prvky vazníků (pásové a výplňové pruty) se upravují nejčastěji pomocí úhlových pil. Jednotlivé prvky mají shodnou tloušťku a jsou spojovány na sraz. Vzájemné spojení ve styčnicích je realizováno ocelovou deskou s prolisovanými trny. Tento styk je považován za jedno z nejpevnějších spojení u dřevěných konstrukcí vůbec. Jednou styčnickovou deskou je možno běžně stykovat až pět dřevěných prvků [1].

Z ocelové desky jsou vyraženy kolmo stojící trny, ty jsou strojově lisovány do trámových spojů. Styčnickové desky se vyrábějí žárově pozinkované, aby lépe odolávaly vlivům okolního prostředí [16].

Ve styčnicích tvořených deskami s prolisovanými trny (obrázek 2.6) se síla nejprve přenáší z konstrukčního prvku do trnů, z nich potom do ocelové desky a přes spáru spoje opět pomocí trnů do konstrukčního prvku na druhé straně spoje. Z toho pro MSÚ vyplývá, že buď je dosaženo únosnosti trnů v jednom z připojovaných prvků, nebo únosnosti průřezu samotné ocelové desky ve spáře mezi konstrukčními prvky [2].

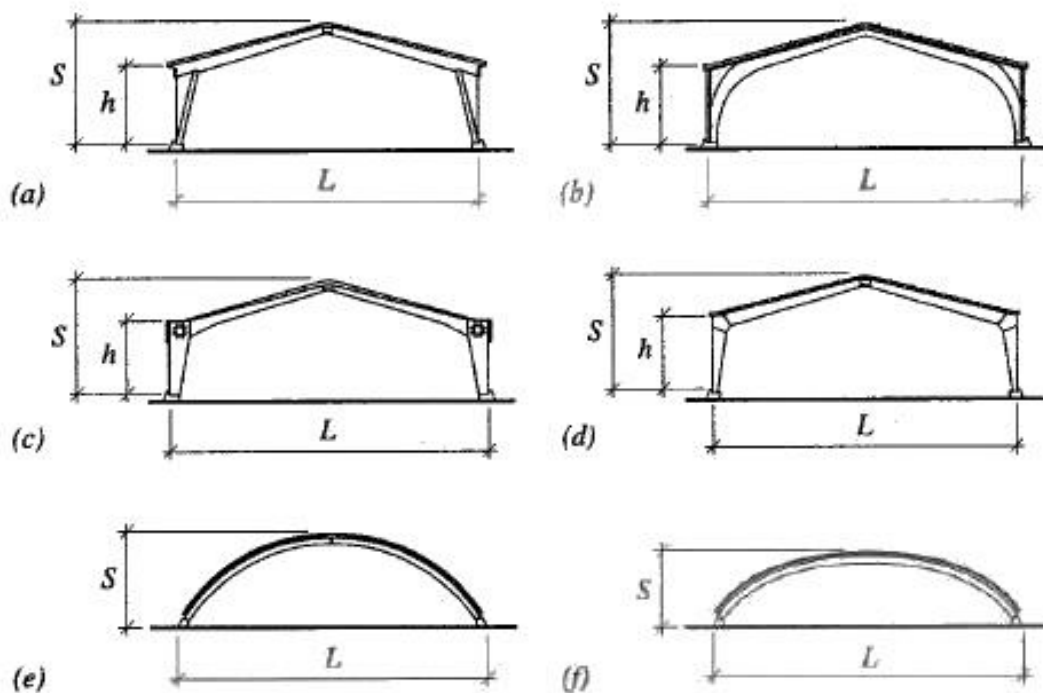


Obrázek 2.6 – Styčnická příhradová vazník s ocelovou deskou s prolisovanými trny (Zdroj: [www.asb-portal.cz](http://www.asb-portal.cz); 22.8.2016)

## 2.2 Rámové soustavy

Rámová soustava (obrázek 2.7) vzniká spojením rámové stojky a rámové příčle v místě rámového rohu (obrázek 2.8). Rozlišujeme rámové soustavy dvojklobové (klouby pouze v podporách) a trojklobové (kloubové uložení a vrcholový kloub), jež jsou méně náchylné na poklesy podpor a objemové změny vlivem vlhkosti. Konstrukce vetknuté v podporách se vzhledem k obtížné montáži a zavedení ohybových momentů do základů téměř nepoužívají [1].

Rámové konstrukce jsou použitelné na velkou oblast rozpětí, a to od několika metrů až do cca 50 m pro rámy a cca 100 m pro oblouky. Většinou se setkáváme s plnostěnnými variantami, nicméně zejména pro velká rozpětí nejsou vyloučené ani soustavy příhradové [2].



Obrázek 2.7 – Rámové soustavy: a) s rozebíratelným rámovým rohem; b) se zakřiveným rámovým rohem; c) s kruhem hmoždíků; d) s rámovým rohem se zubovitým spojem; e) trojkloubový oblouk; f) dvojklobový oblouk (Zdroj: [2])

### 2.2.1 Plnostěnné rámy

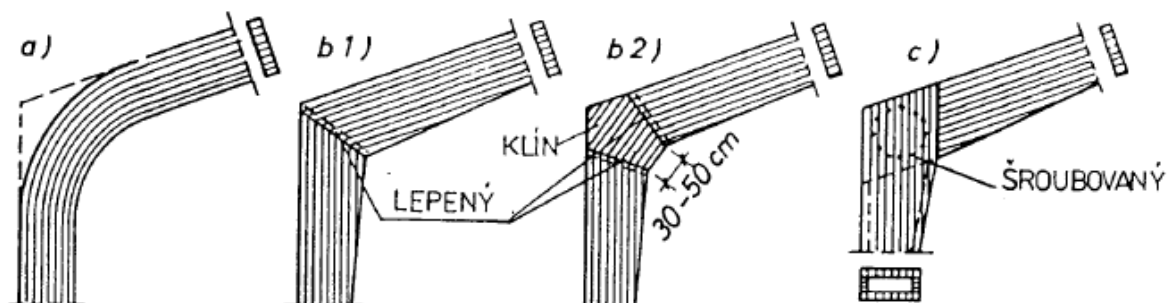
Jedním ze způsobů provedení momentového styku jsou šroubované rámové rohy, jež umožňují snadnou montáž na staveništi či jejich následné rozebrání. Přitom je užíváno různých spojovacích prostředků (kroužky, svorníky, kolíky). Jako nejvhodnější uspořádání těchto spojovacích prostředků se jeví uspořádání do kruhu, případně mezikruží. Z důvodů náchylnosti ke štípnutí při vnějším okraji (především trojkloubové rámy) se někdy zhlaví stojky a příčle provádí s větší excentricitou spoje [1].

Jelikož spojení rámové stojky s příčlí v rámovém rohu není dokonalé tuhé, je vhodné u dvojklobových rámových konstrukcí zvážit redistribuci momentů, která vyplývá z prokluzu spoje. V důsledku toho se ohybové momenty v rámovém rohu zmenšují a v příčli zvětšují. Míra prokluzu a celková poddajnost je závislá na typu použitého spojovacího prostředku. Pro svorníky je možno počítat se zvětšením ohybových momentů v příčli v rozmezí 10 až 20 % [1].

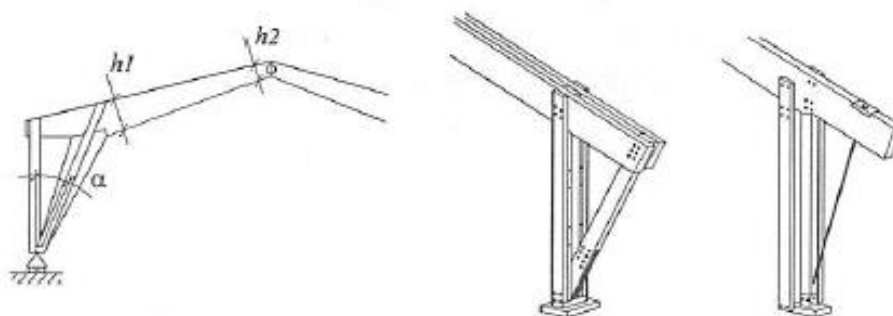
Jiným často používaným řešením, které obchází problém se stykováním stojky a příčle, je zakřivení střednice rámu v místě rámového rohu. Poloměr zakřivení by u těchto konstrukcí neměl být menší než dvousetnásobek tloušťky prvku [1].



Jako velice elegantní se také jeví spojení stojky a příčle pomocí lepeného zubovitého spoje (obrázek 2.10), kdy do šikmo seříznuté stojky a příčle je vyfrézováno zazubení a oba díly jsou s vloženým klínem následně slepeny za pomoci lisu (většinou přímo na stavbě). Toto spojení vykazuje značně vysokou tuhost [1].



Obrázek 2.8 – Možnosti provedení rámového rohu (Zdroj: [1])



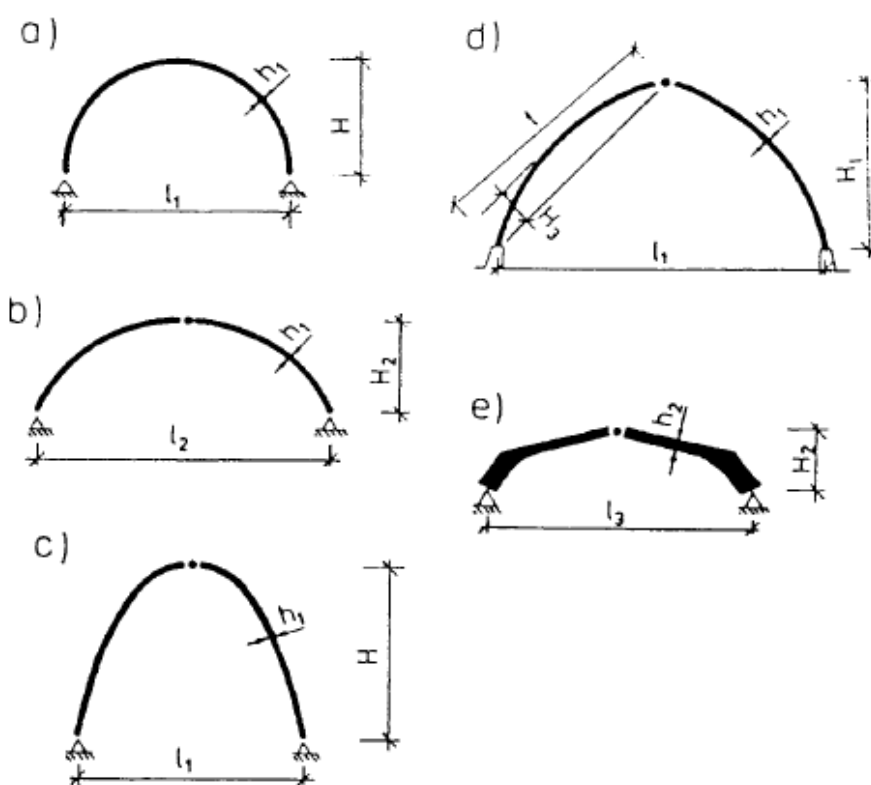
Obrázek 2.9 – Rám se stojkami ve tvaru V (Zdroj: [3])



Obrázek 2.10 – Lepený zubovitý spoj (Zdroj: [www.konstrukce-tesko.cz](http://www.konstrukce-tesko.cz); 22.8.2016)

### 2.2.2 Plnostěnné oblouky

Obloukové konstrukční systémy (obrázek 2.11) jsou vhodnější pro větší rozpětí než rámy, jelikož střednice oblouku se obecně jen málo odchyluje od tlakové čáry, z čehož vyplývají malé ohybové momenty. Častým způsobem provedení je trojkloubový oblouk s táhlem, kdy táhlo funkčně ani esteticky nijak nepřekáží. V dnešní době se ovšem stále více klade důraz na realizaci obloukových konstrukcí bez táhla, jež dosahují stále větších rozpětí. Zhruba do 60 m rozpětí lze provádět konstrukce trojkloubových oblouků bez montážních styků, nad 60 m rozpětí je nezbytné provést montážní styk. Krom toho hraje při statickém výpočtu významnou roli teorie 2. řádu (statické podmínky rovnováhy na deformované konstrukci) [1].



Obrázek 2.11 – Plnostěnné oblouky (Zdroj: [1])

## 2.3 Příklady výrobních hal ze dřeva

### Výrobní hala skláren Kavalier

Jedná se o dvoulodní výrobní halu sklářského podniku Kavalier v Sázavě. Nosnou konstrukci halového objektu tvoří příhradové vazníky se styčnickovými deskami s prolisovanými trny. Vazníky jsou uloženy na ocelových průvlacích v podélném směru, ty jsou podporovány ocelovými sloupy mezikruhového průřezu.



*Obrázek 2.12 – Výrobní hala sklárny Kavalier (Zdroj: [www.kaspercz.cz](http://www.kaspercz.cz); 22.8.2016)*

### **Hala pilnice LESS & Timber s.r.o.**

Výrobní hala dřevozpracujícího závodu v Čáslavi je čtyřlodní halová konstrukce ve tvaru písmene L s dvoupodlažní vestavbou. Nosnou konstrukci tvoří kombinace dřeva a železobetonu. Železobetonové sloupy jsou navrženy jako průběžné, vetknuté do základových konstrukcí, jež jsou řešeny vrtanými železobetonovými pilotami průměru 600 mm s ukončením pomocí kruhových hlavic průměru 1500 mm. Světla výška objektu je 9,0 m. Střechu v části nad brusírnou tvoří střešní vazníky na rozpětí 26 m v osových vzdálenostech 6,65 m, ve zbývajících částech haly pak dřevěné plnostěnné lepené průvlaky na rozpětí 17,5 m a 13,3 m. Na průvlaky jsou uloženy dřevěné plnostěnné lepené v osových vzdálenostech do 6,65 m. V úrovni střešní konstrukce byla navržena obvodová ztužidla pro zajištění stability horních pásů vazníků [17].



*Obrázek 2.13 - Výrobní hala pilnice LESS & Timber s.r.o. (Zdroj: [17])*

### 3 VARIANTY

V této kapitole jsou představeny 3 varianty návrhu výrobní haly z materiálu na bázi dřeva. Varianty se liší zejména ve volbě konstrukčního systému příčné vazby. Na základě předběžného statického výpočtu byly navrženy základní dimenze prvků příčné vazby a následně byly jednotlivé varianty porovnány dle několika kritérií.

Předběžný, zjednodušený statický výpočet spočíval ve stanovení zatěžovacích stavů na jeden rám příčné vazby haly, kombinaci zatěžovacích stavů, lineárním výpočtu vnitřních sil v prvcích prostřednictvím programu Scia Engineer a jejich následném dimenzování. Vše bylo provedeno v souladu s níže uvedenými normami (viz kapitoly 5 a 6). Výhoda tohoto postupu spočívá v tom, že je možné rychlým způsobem poměrně přesně navrhnout základní dimenze průřezů a nabízí se možnost vypočtené vnitřní síly ověřit pomocí ručního výpočtu (není součástí této práce). Předběžný statický výpočet nevybraných variant (Varianty B, C) je uveden v kapitole 10.

#### 3.1 Varianta A

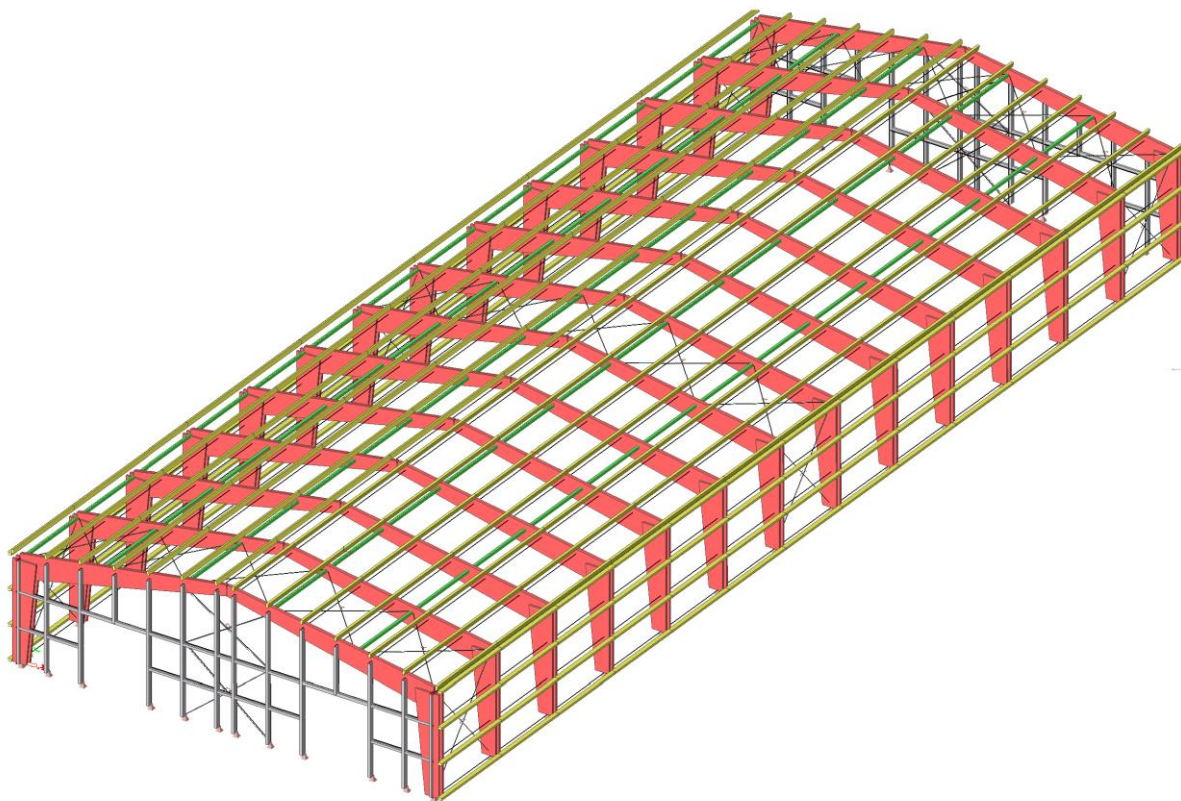
Jedná se o halu o půdorysných rozměrech nosné konstrukce 25 x 66 m a výšce 8 m.

Jako statický prvek příčné vazby byl zvolen staticky určitý trojkloubový rám na dvou neposuvných kloubových podporách a s kloubem ve vrcholu. Rám se sestává z dvoudílné stojky a z mezi ní vložené jednodílné příčle o sklonu  $9,1^\circ$ . Jako materiál těchto prvků bylo zvoleno lepené lamelové dřevo třídy pevnosti GL28h. Vzájemný spoj v rámovém rohu je realizován pomocí svorníků M20 jakosti 8.8 uspořádaných do dvou kruhů, přičemž poloměr vnějšího kruhu (34 kusů) je 550 mm a poloměr vnitřního kruhu (28 kusů) je 450 mm. Aby bylo docíleno co největšího odlehčení nosné konstrukce, jsou průřezy prvků příčné vazby po své délce proměnné s přihlédnutím k průběhu vnitřních sil v konstrukci a k možnosti provedení kloubových spojů ve vrcholu a v uložení. Příčel má v místě rámového rohu rozměry 200 x 1380 mm, poté se průřez směrem k vrcholovému kloubu rovnoměrně zmenšuje až na 200 x 600 mm. Stojka má v místě rámového rohu rozměry 2 x 120 x 1380 mm a rovněž se průřez po své délce mění až na 2 x 120 x 800 mm v místě uložení.

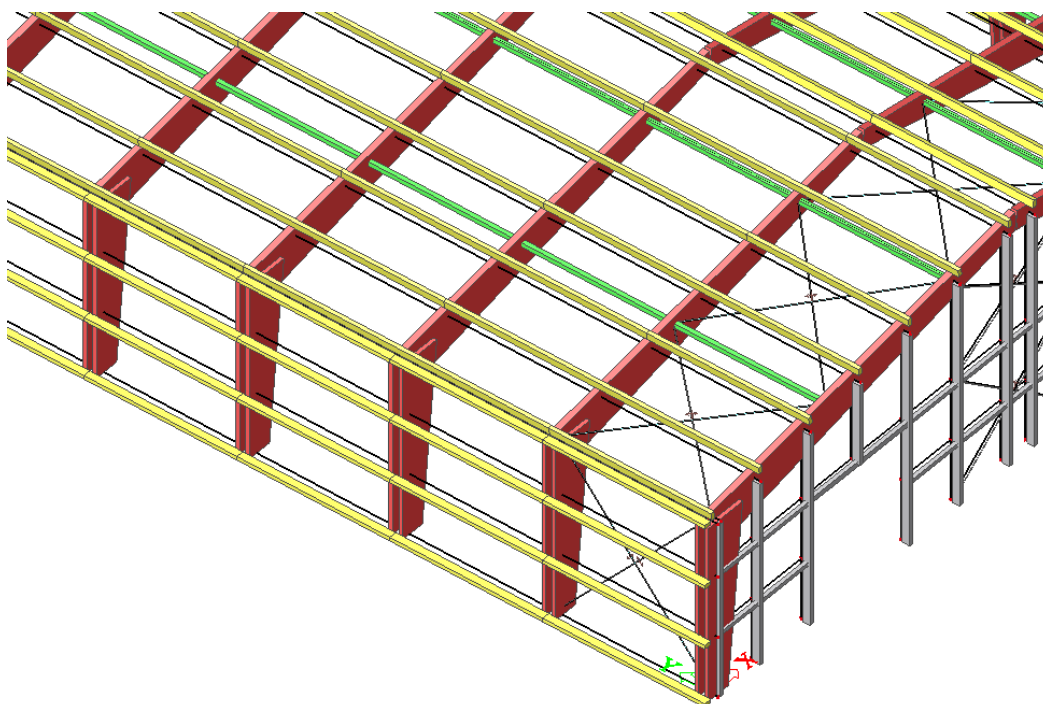
Příčné vazby jsou v podélném směru rozmístěny s roztečí 5 m (celkem 13 polí). Jejich vzájemné spojení je provedeno jednak prostřednictvím rozpěrných dřevěných prvků z lepeného lamelového dřeva GL24h, připojených k příčlím přibližně v oblasti jejich těžišťových os, a také pomocí vaznic z lepeného lamelového dřeva GL24h, jež jsou uloženy shora na příčle. Půdorysná rozteč rozpěr je 5 m a ve třech polích (dvě krajní pole a prostřední pole) po délce haly spolu s překříženými diagonálními pruty z oceli S460 tvoří příčný



ztužidlový systém, který slouží k účinnému přenášení zatížení ze štítových stěn. Vaznice jsou na příčle kladeny s půdorysnou roztečí 2 m, přičemž jsou spojitě přes dvě pole haly na délku 10 m. V krajních polích jsou vaznice vykonzolovány. Na stojkách jsou umístěny paždíky.



*Obrázek 3.1 - Varianta A (axonometrický pohled)*



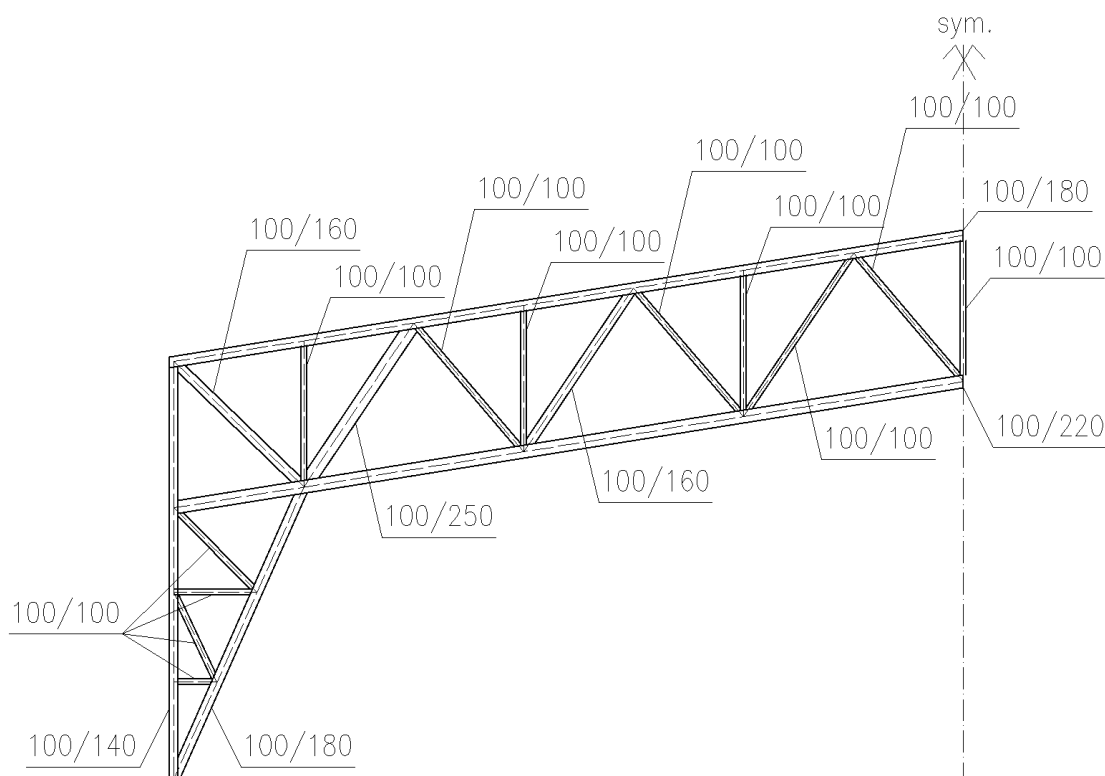
*Obrázek 3.2 - Varianta A (detail)*

## 3.2 Varianta B

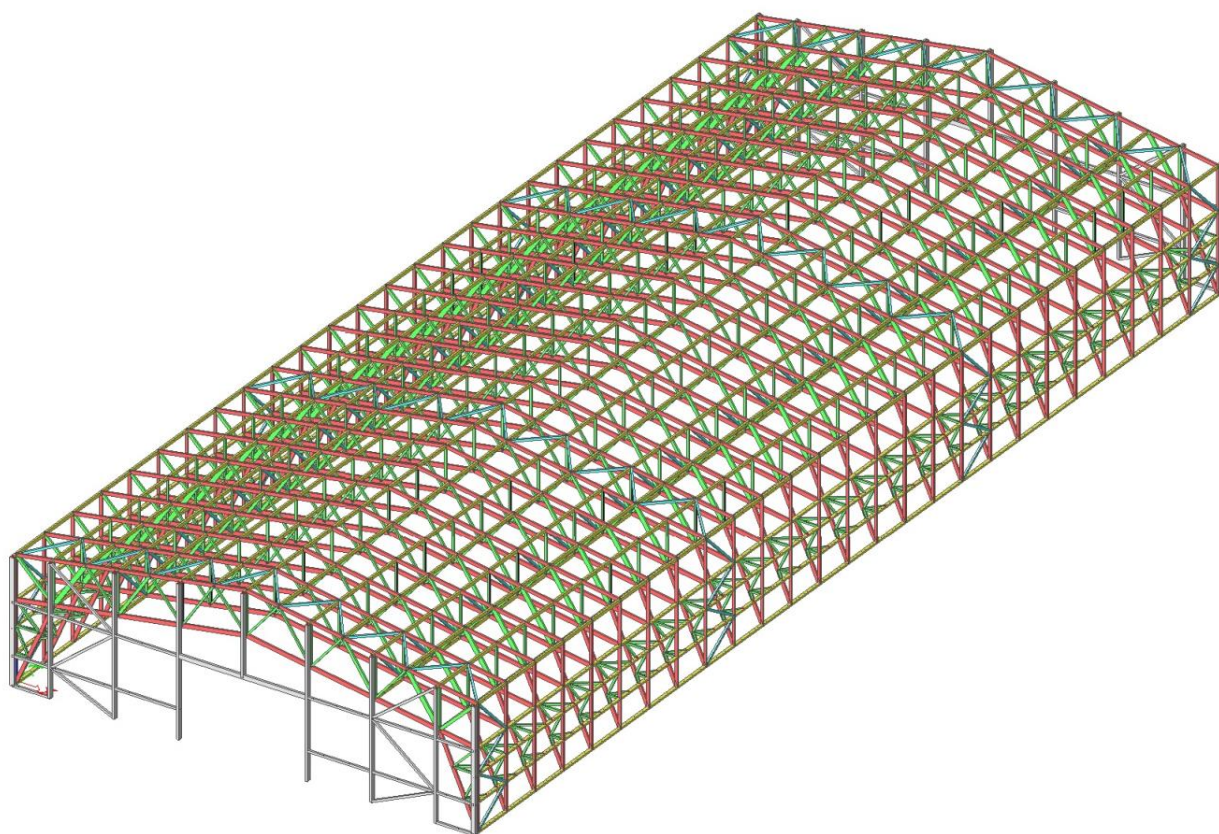
Jedná se o halu o půdorysných rozměrech nosné konstrukce 27,1 x 66 m a výšce 9,39 m.

Jako statický prvek příčné vazby byla využita příhradová konstrukce na dvou neposuvných kloubových podporách. Sklon střešních rovin je  $9,1^\circ$ , výška příhrady je 2700 mm. Celá příčná vazba tvoří jeden celek vzájemně propojených prutů a je jedenkrát staticky neurčitá. Jako materiál těchto prvků bylo zvoleno rostlé dřevo třídy pevnosti C27. Teoreticky se nejedná o staticky dokonalou příhradu, jelikož horní i dolní pás, svislá stojka a šikmá stojka jsou spojitě na celou svou délku a ostatní prvky (tj. svislice a diagonály) jsou k nim kloubově připojeny, každopádně v praxi se běžně tyto konstrukce jako příhradové označují. Spoje prvků jsou provedeny pomocí vložených styčnickových plechů, jež jsou zajištěny kolíky. Dimenze prvků příčné vazby jsou zřejmé z obrázku 3.3.

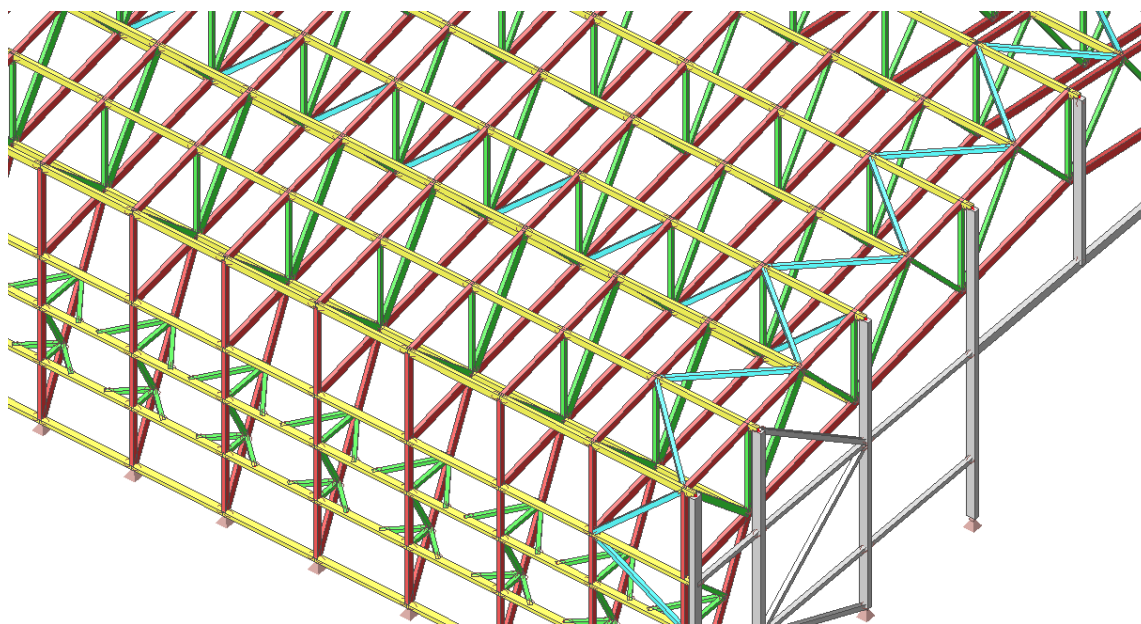
Jednotlivé příčné vazby jsou v podélném směru rozmístěny s dvakrát tak hustší roztečí, než je tomu u Variant A, C, tedy co 2,5 m (celkem 26 polí). Jejich vzájemné spojení je uskutečněno prostřednictvím rozpěrných dřevěných prvků z rostlého dřeva C27, jež jsou připojeny k průběžným horním pásům příčné vazby v každém ze styčnicků. Ztužení v podélném směru je provedeno čtyřmi ztužidlovými poli ve střešní rovině haly pomocí dřevěných diagonál. Ztužidlový systém je navíc doplněn dvěma svislými podélnými ztužidly, která kromě ztužení haly v podélném směru zároveň slouží ke zkrácení vzpěrných délek průběžných dolních pásových prutů z roviny příčné vazby.



Obrázek 3.3 - Varianta B (dimenze prvků příčné vazby)



*Obrázek 3.4 - Varianta B (axonometrický pohled)*



*Obrázek 3.5 - Varianta B (detail)*

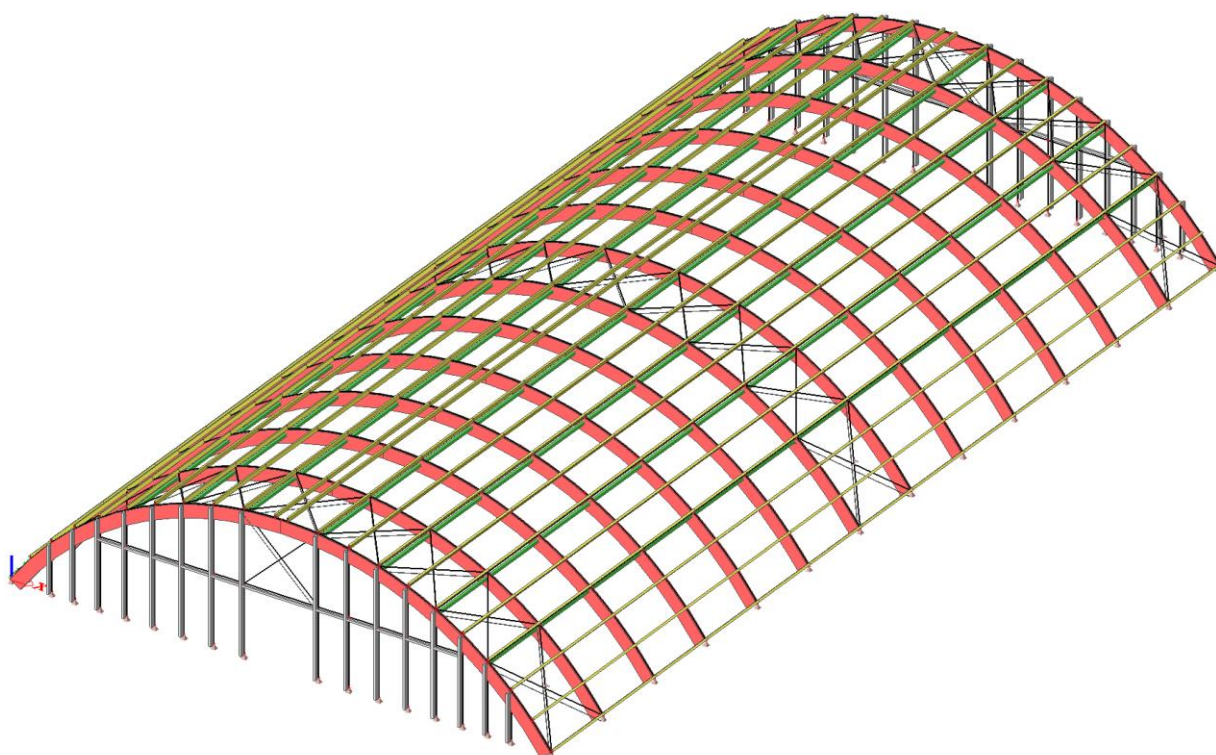


### 3.3 Varianta C

Jedná se o halu o půdorysných rozměrech nosné konstrukce 35 x 66 m a výšce (vzepětí oblouku) 9 m.

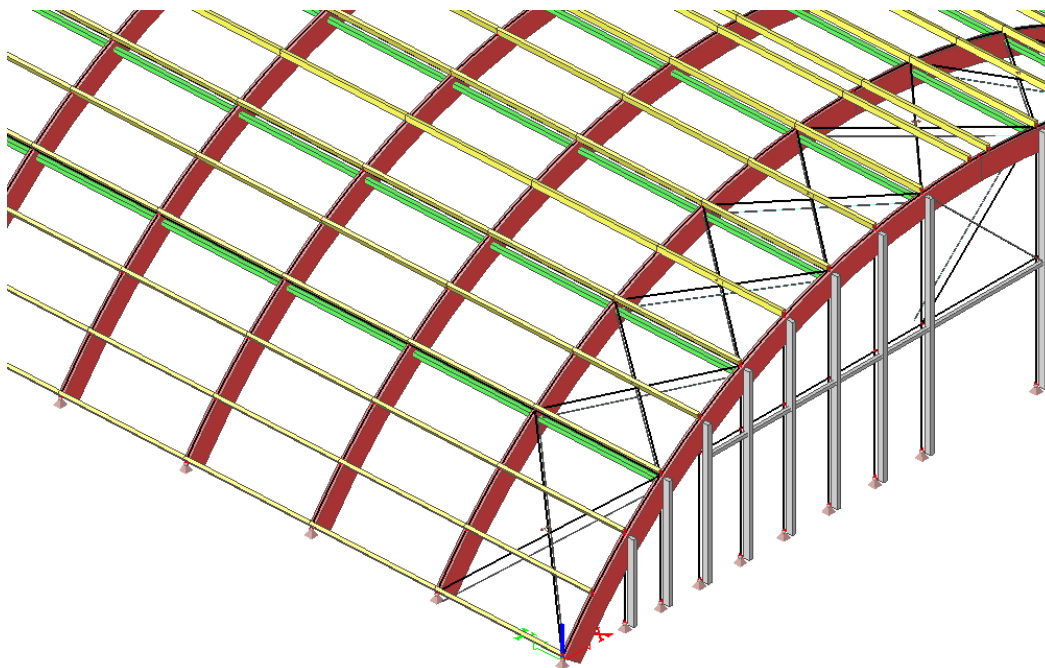
Jako statický prvek příčné vazby byl zvolen staticky určitý trojkloubový kružnicový oblouk na dvou neposuvných kloubových podporách a s kloubem ve vrcholu. Délka poloviny kružnicového oblouku je 20,44 m, jeho vnitřní poloměr je 21,24 m. Oblouk má po celé své délce konstantní průřez 200 x 800 mm. Jako materiál oblouku bylo zvoleno lepené lamelové dřevo třídy pevnosti GL28h.

Rovněž jako u Varianty A jsou příčné vazby v podélném směru rozmístěny s roztečí 5 m (celkem 13 polí). Jejich vzájemné spojení je opět provedeno prostřednictvím rozpěrných dřevěných prvků z lepeného lamelového dřeva GL24h, připojených k obloukům přibližně v oblasti jejich těžišťových os, a také pomocí vaznic z lepeného lamelového dřeva GL24h, jež jsou uloženy shora na oblouky. Vaznice jsou kladeny s roztečí 2 m po délce oblouku, přičemž jsou spojitě přes dvě pole haly na délku 10 m. Rozteč rozpěr je dvojnásobný než rozteč vaznic a obdobným způsobem jako u Varianty A tvoří rozpěry spolu s překříženými diagonálními pruty z oceli S460 příčný ztužidlový systém, který slouží k účinnému přenášení zatížení ze štítových stěn.



Obrázek 3.6 - Varianta C (axonometrický pohled)





Obrázek 3.7 - Varianta C (detail)

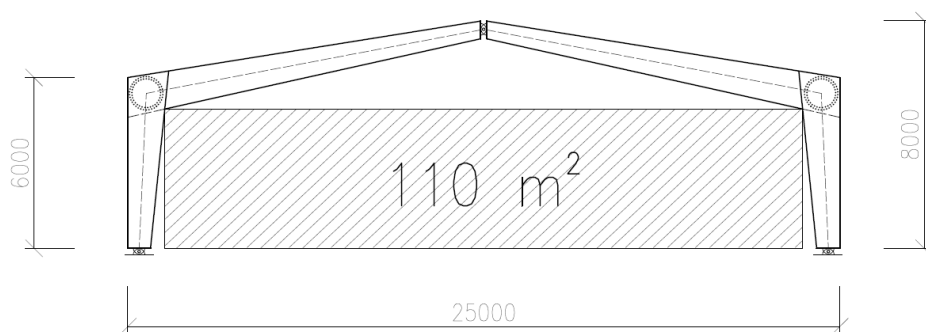
### 3.4 Porovnání variant

Důležitým faktorem pro volbu optimální varianty u výrobního objektu bylo zhodnocení výše uvedených variant podle využití prostoru uvnitř objektu. Na obrázku 3.8 lze vidět porovnání základních rozměrů příčné vazby haly o stejném užitém prostoru ( $110 \text{ m}^2$  v příčném řezu haly). Jako nejúspornější se dle tohoto kritéria jeví Varianta A, kde vychází výška konstrukce i rozpětí lodě nejmenší.

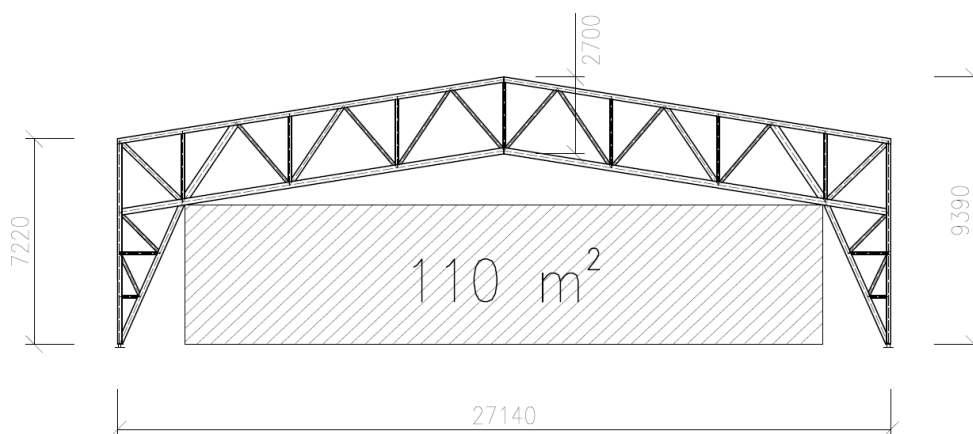
Dalším důležitým kritériem pro volbu optimální varianty bylo srovnání z hlediska spotřeby materiálu na příčnou vazbu objektu (ekonomické hledisko). Co se týká spotřeby konstrukčního řeziva, tak nejvýhodněji se zde jeví Varianta B (s přihlédnutím k tomu, že příčných vazeb je dvakrát více než u zbývajících variant). Varianty A a C jsou na tom dosti podobně (o něco lépe vychází Varianta C). Tato výhoda Varianty B je však výrazně potlačena faktem, že počet dřevěných prvků nosné konstrukce je mnohonásobně vyšší, s čímž souvisí i mnohonásobně vyšší množství spojů dřevěných prvků, což je jednak mnohem pracnější a potom také dosti nákladné.

Na základě uvedených faktů byla pro další zpracování zvolena Varianta A, která je sice nejméně hospodárná z hlediska spotřeby konstrukčního řeziva na příčnou vazbu haly, ale je jednoduchá na montáž, provedení spojů a nejhospodárněji využívá užitečný prostor uvnitř objektu. Varianta B byla zamítnuta kvůli pracnosti (zejména velké množství spojů). Varianta C byla zamítnuta z důvodu nevhodného využití užitého prostoru uvnitř objektu (největší výška konstrukce i rozpětí lodě) a poněkud vyšších rozpěrných sil v uložení konstrukce než u Varianty A, což klade vyšší nároky na založení objektu.

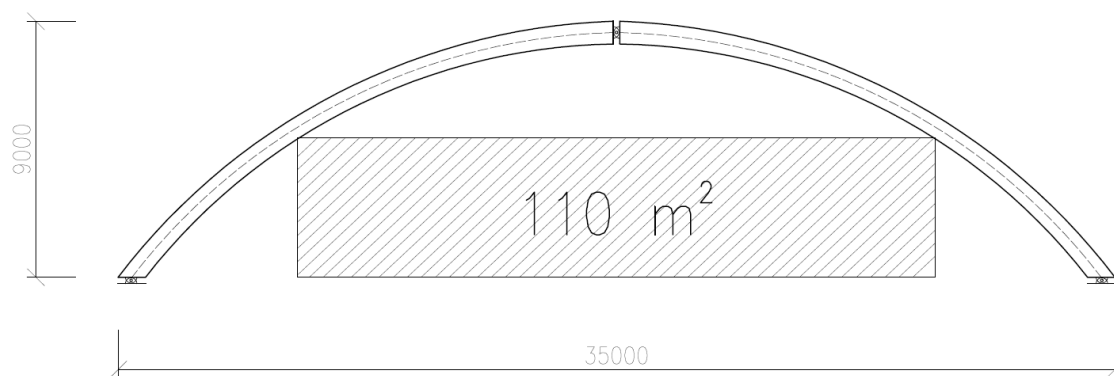
### VARIANTA A



### VARIANTA B



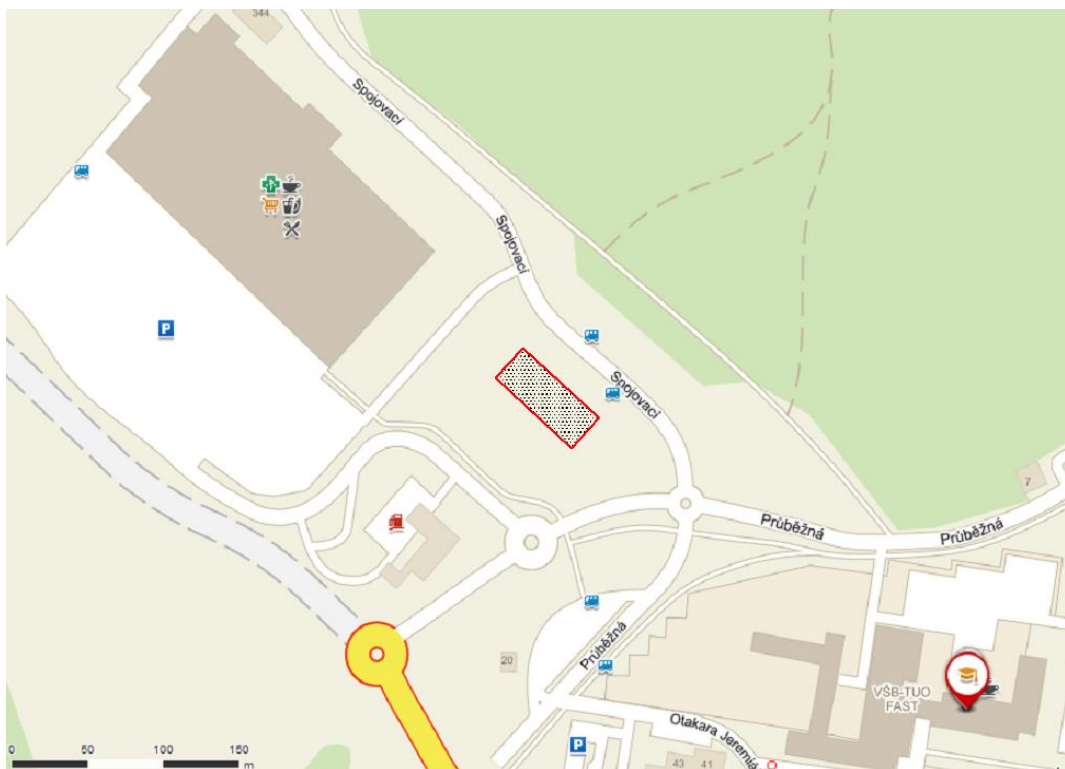
### VARIANTA C



Obrázek 3.8 - Porovnání variant z hlediska užitého prostoru uvnitř objektu

## 4 DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ

Výrobní hala je situována do západní části města Ostrava mezi hypermarket Globus a Fakultu stavební Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Samotný pozemek, na kterém má být objekt vystaven, je rovný, nezastavěný a bez významného porostu. Umístění stavby je patrné z obrázku 4.1 (obrys půdorysu objektu vyznačen červenou čarou).



Obrázek 4.1 - Situování objektu (Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

Dispoziční řešení a základní proporce stavby vychází z předběžného návrhu nosné konstrukce (viz kapitola 3). Jednoduchá výrobní hala o jednom nadzemním podlaží je obdélníkového půdorysu o rozměrech 25 720 mm na šířku a 65 920 mm na délku, což vykazuje 1 695,5 m<sup>2</sup> zastavěné plochy. Objekt je zastřešen sedlovou střechou se sklonem střešních rovin 9,1°. V nejvyšším bodě dosahuje stavba výšky 8 650 mm nad okolním terénem (úroveň základní srovnávací roviny). Nejmenší světlá výška uvnitř objektu pod nosnou konstrukcí je 5 100 mm od úrovně podlahy.

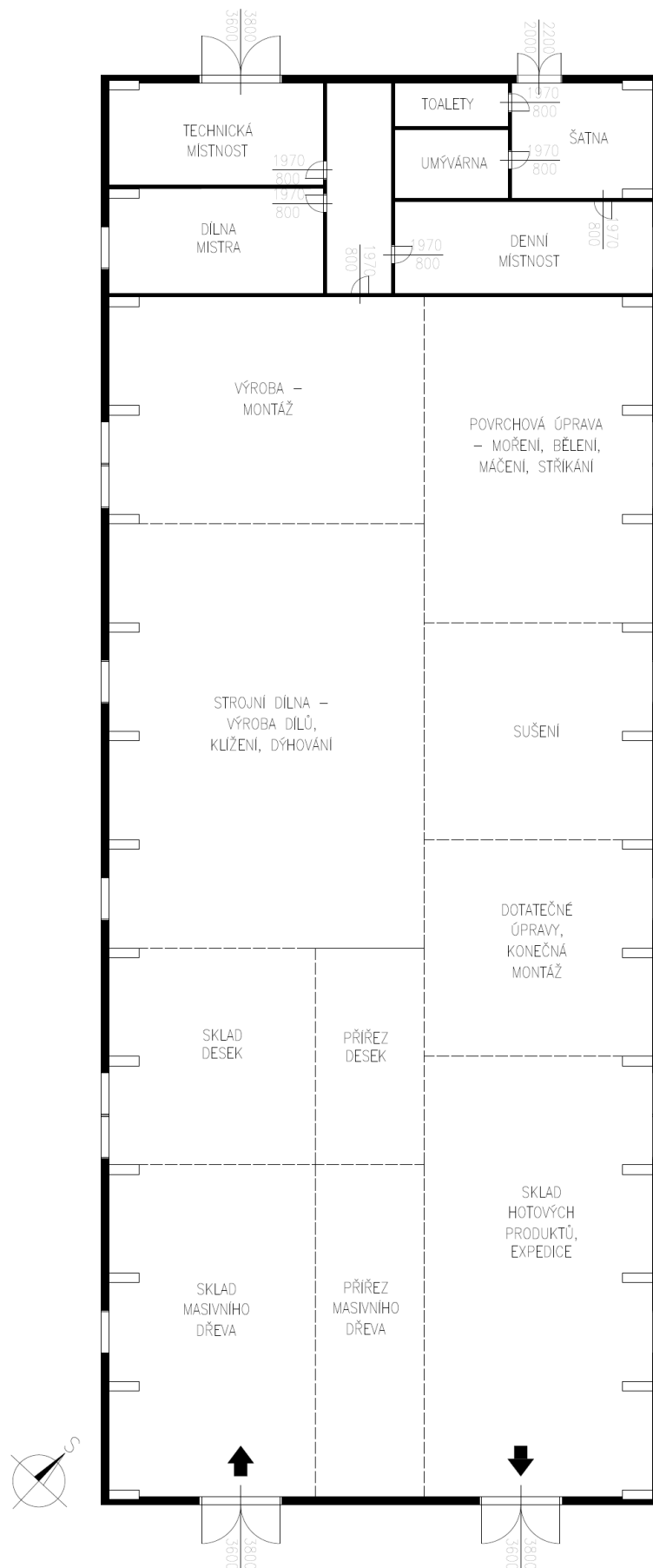
Při návrhu dispozičního řešení (viz obrázek 4.2) bylo využito odborné literatury [4] o navrhování staveb, kde jsou shrnuty poznatky a zkušenosti architektů a stavebních inženýrů z celého světa. Výrobní hala bude sloužit jako truhlárna, zaměřená zejména na výrobu rakví. S ohledem na povahu a druh výroby byl objekt půdorysně rozčleněn na několik specializovaných částí.

V zadní části haly (severozápadní část) se nachází jednak zázemí pro zaměstnance, tedy toalety, umývárna, šatna a denní místnost, a potom také dílna pro mistra či technická místnost. Jednotlivé prostory jsou od sebe odděleny vzájemně propojenými nenosnými vnitřními příčkami. Ty jsou v horní části opřeny o příčné vazby nosné konstrukce (ze statického hlediska je nezbytné dbát na to, aby byl v připojení umožněn posun ve svislém směru). Tato část tvoří asi jen 15 % z celkové půdorysné plochy. Vstup do této části je umožněn prostřednictvím velkých dvoukřídlých vrat do technické místnosti a menších dvoukřídlých dveří do šatny (tento vstup je určen pro zaměstnance, kteří jdou na šichtu).

Ostatní prostory haly (zbylých 85 %) jsou určeny samotné výrobě. Prostory výrobní části jsou pomyslně půdorysně rozděleny podle konkrétních činností, které zde budou vykonávány. Při uspořádání byl brán ohled na to, aby jednotlivé činnosti mohly na sebe plynule navazovat. Najdeme zde prostory vymezené pro skladování masivního dřeva a desek spolu s jejich přířezem. Dále následuje strojní dílna, kde je prováděna výroba dílů, klížení a dýhování. Na strojní dílnu navazuje prostor pro hrubou montáž jednotlivých dílů. Poté se smontované polovýrobky opatřují povrchovou úpravou, která spočívá v moření, bělení, máčení a stříkání dřeva. Po usušení jdou téměř hotové výrobky na konečnou montáž, kde se provádí poslední dodatečné úpravy a vyřazují se vadné kusy. Hotové výrobky, připravené k expedici zákazníkům, jsou skladovány ve východním rohu haly. V jihovýchodní štítové stěně jsou osazena dvoje dvoukřídlá vrata, z nichž první slouží k dovozu surovin a materiálu do objektu a druhé naopak k expedici hotových produktů. Velikost vrat byla zvolena tak, aby byla přístupná pro nákladní automobily běžných rozměrů.

Pro částečně přirozené denní osvětlení uvnitř objektu je v obvodovém plášti osazeno několik vyklápěcích oken. Skladba střešního pláště je zobrazena na obrázku 5.1, skladba obvodového pláště na obrázku 5.2.

K této části práce je přiložena výkresová dokumentace.



Obrázek 4.2 - Dispoziční řešení výrobní haly (truhlárna)

## 5 GLOBÁLNÍ ANALÝZA KONSTRUKCE

### 5.1 Výpočet zatížení

Zatížení konstrukce bylo vypočteno na základě příslušných norem [6], [8] a [9]. Kompletní výpočet zatížení v charakteristických hodnotách je uveden v kapitole 10.

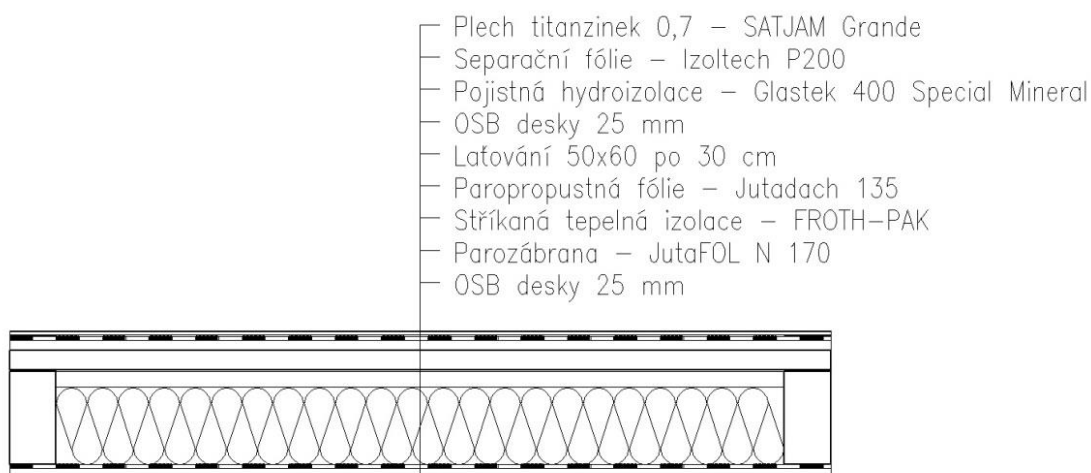
#### 5.1.1 Vlastní tíha

Zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce se generuje automaticky programem Scia Engineer dle nadefinovaných profilů s přiřazeným materiálem.

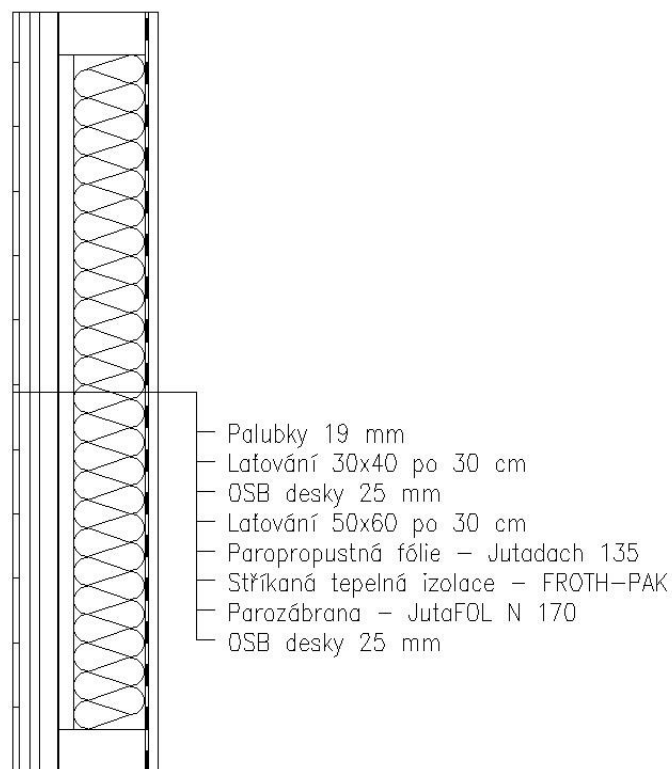
#### 5.1.2 Stálé zatížení

Stálé zatížení představuje zejména zatížení od nenosných, trvale v konstrukci zabudovaných prvků, jako je skladba střešního pláště (obrázek 5.1) a skladba obvodového pláště (obrázek 5.2). Hodnoty plošného zatížení byly rozpočítány na střešní vaznice, paždíky, případně svislé prvky štítových stěn dle jejich zatěžovacích šířek.

Rovněž bylo do výpočtu zahrnuto zatížení od nezbytně nutného doplňkového vybavení haly (vzduchotechnika, elektroinstalace, osvětlení a spojovací prostředky prvků nosné konstrukce). Hodnoty tohoto zatížení byly brány odhadem na metr čtvereční půdorysu haly a následně byly rozpočítány na příčle rámových vazeb dle jejich zatěžovacích šířek.



Obrázek 5.1 - Skladba střešního pláště



Obrázek 5.2 - Skladba stěnového pláště

### 5.1.3 Užité zatížení

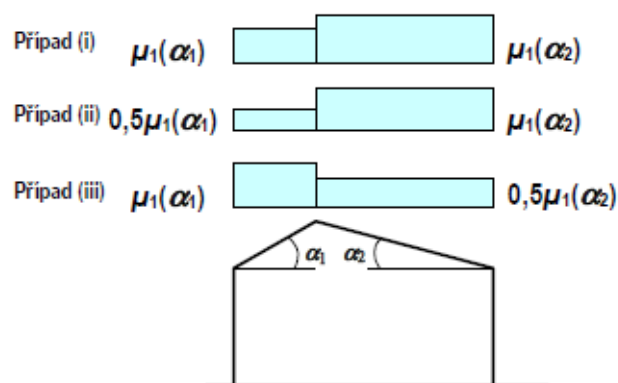
Užitné zatížení se uplatní pouze na střeše halového objektu. Podle normy [6] s respektováním národního dodatku daná střecha spadá do kategorie H (střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav), kde se charakteristická hodnota plošného zatížení uvažuje hodnotou  $0,75 \text{ kN/m}^2$ . Tato hodnota byla rozpočítána na jednotlivé střešní vaznice dle jejich zatěžovacích šířek. Jsou uvažovány dva zatěžovací stavy (každá střešní rovina zvlášť).

### 5.1.4 Zatížení sněhem

K výpočtu zatížení sněhem bylo využito sněhové mapy dostupné z [18], odkud byla na základě lokality stavby převzata charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi. Krajina byla vyhodnocena jako normální s hodnotou součinitele expozice  $C_e = 1,0$ . Tepelný součinitel je brán hodnotou  $C_t = 1,0$ . Tvarový součinitel byl uvažován dle tabulky 5.1. Výpočet plošného zatížení sněhem na střeše byl proveden dle vztahu (5.1) pro uspořádání nenavátým sněhem a dle vztahu (5.2) pro uspořádání navátým sněhem (menší z hodnot). Dle obrázku 5.3 musí být uvažovány tři případy zatěžovacích stavů, avšak v případě symetrické sedlové střechy (tento případ) postačí dva zatěžovací stavy.

$$s_{k,1} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (5.1)$$

$$s_{k,2} = 0,5 \cdot \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (5.2)$$



Obrázek 5.3 - Uspořádání zatížení sněhem pro sedlové střechy (Zdroj: [8])

Tabulka 5.1 - Tvarový součinitel pro sedlové střechy (Zdroj: [8])

úhel sklonu střechy $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	–

### 5.1.5 Zatížení větrem

Objekt byl na základě mapy větrných oblastí zařazen do větrné oblasti II. Kategorie terénu byla vyhodnocena jako II (oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenosti jsou větší než 20 násobek výšky překážek).

Nejprve je nutné postupně dle vztahů (5.3) až (5.8) vypočítat základní dynamický tlak působící na konstrukci, který je závislý na referenční výšce.

Základní rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (5.3)$$

Charakteristická střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (5.4)$$

$$c_r(z) \cdot k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (5.5)$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (5.6)$$

Turbulence větru a maximální dynamický tlak:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (5.7)$$



$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (5.8)$$

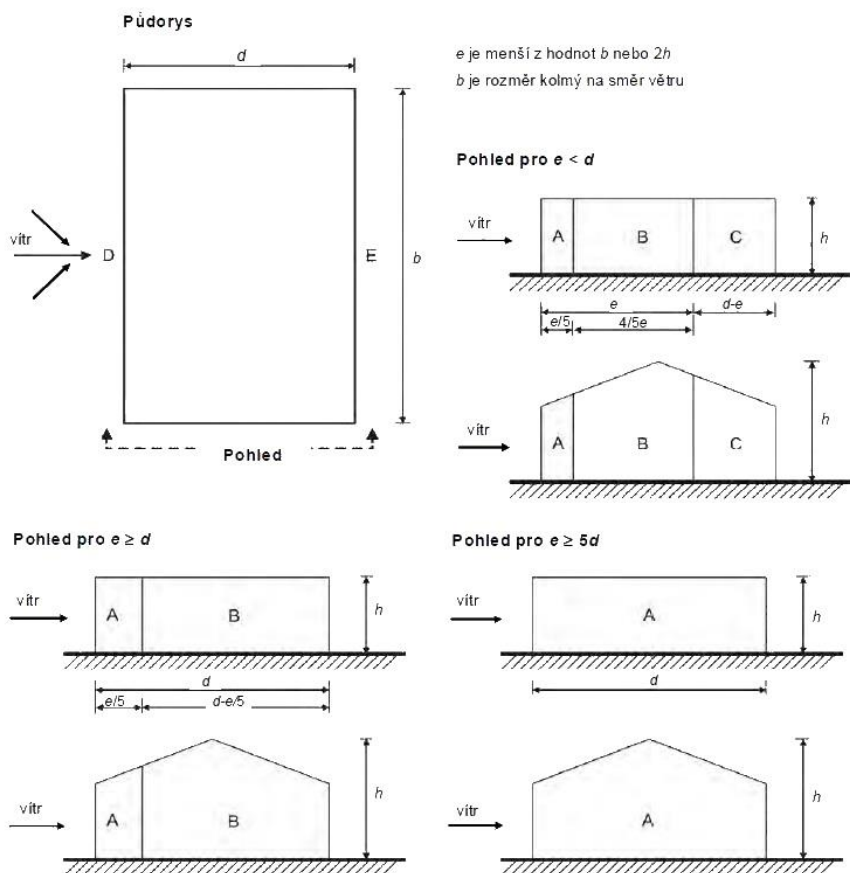
Pokud známe hodnotu maximálního dynamického tlaku, můžeme vypočítat plošné zatížení od větru na jednotlivé povrchy konstrukce. Výsledný tlak větru na stěnu či střechu je dán rozdílem mezi tlaky na opačných površích. Dynamický tlak působící směrem k povrchu se uvažuje jako kladný a sání působící směrem od povrchu jako záporné. Tlak větru působící na vnější povrchy byl získán ze vztahu (5.9). Tlak větru působící na vnitřní povrchy byl získán ze vztahu (5.10). Výsledný tlak je potom dán jejich vektorovým součtem.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (5.9)$$

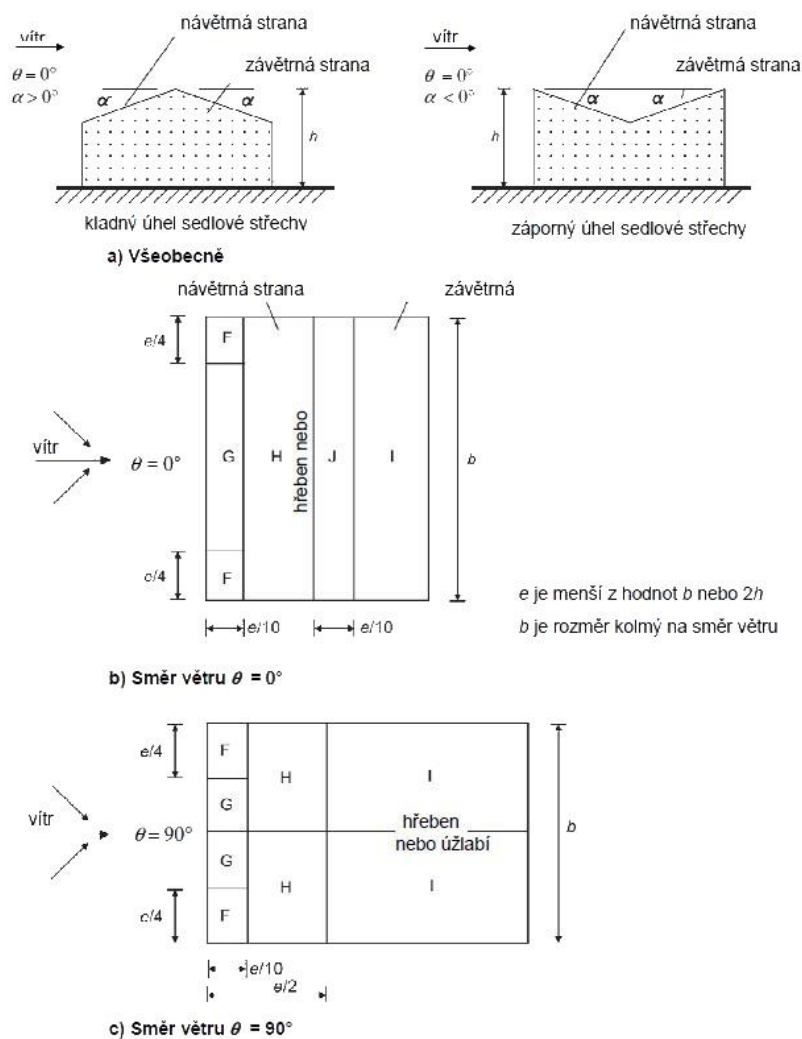
$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (5.10)$$

Pro volbu součinitelů vnějších tlaků se má konstrukce rozdělit na oblasti A, B, C, D, E pro svislé stěny (obrázek 5.4) a na oblasti F, G, H, I pro sedlové střechy (obrázek 5.5), přičemž jsou uvažovány dva na sebe kolmé směry větru (vítr příčný a vítr podélný).

Hodnoty součinitelů vnitřních tlaků se uvažují dvojí, a to  $C_{pi}^+ = 0,2$  (přetlak uvnitř objektu) a  $C_{pi}^- = -0,3$  (podtlak uvnitř objektu).



Obrázek 5.4 - Rozdělení svislých stěn na oblasti pro zatížení větrem (Zdroj: [9])



Obrázek 5.5 - Rozdělení sedlových střešů na oblasti pro zatížení větrem (Zdroj: [9])

Při působení příčného větru se tlaky prudce mění mezi kladnými a zápornými hodnotami (pro sedlové střešy uvedeny dvě hodnoty součinitelů vnějších tlaků). Pro tyto střešy se mají uvažovat čtyři případy, ve kterých největší a nejmenší hodnoty ze všech oblastí F, G a H jsou kombinovány s největšími a nejmenšími hodnotami z oblastí I a J. Na stejné straně střešy nelze použít kladné a záporné hodnoty. Přitom jsou uvažovány dvě různé hodnoty součinitelů vnitřních tlaků, jež představují přetlak a podtlak uvnitř objektu. Pro příčný vítr tedy dostáváme celkem osm zatěžovacích stavů.

Pro podélné působení větru byly opět v kombinaci se dvěma součiniteli vnitřních tlaků sestaveny dva zatěžovací stavy.

Výsledné tlaky (plošné zatížení) větru na konstrukci jsou rozpočítány na střešní vaznice, paždíky a sloupky štítových stěn dle jejich zatěžovacích šířek.

## 5.2 Zatěžovací stavy

Do výpočetního modelu ve Scia Engineer bylo zadáno 17 různých zatěžovacích stavů, které zohledňují možné účinky zatížení na konstrukci. V tabulce 5.2 jsou uvedeny zatěžovací stavy včetně jejich popisů, typu a době působení a skupin zatížení. V tabulce 5.3 jsou uvedeny skupiny zatížení, které jsou přiřazeny zatěžovacím stavům.

Tabulka 5.2 - Zatěžovací stavy

Jméno	Popis	Typ působení	Doba působení	Skupina zatížení
LC1	Vlastní tíha	Stálé	-	LG1
LC2	Stálé	Stálé	-	LG1
LC3	Užitné A	Proměnné	Krátkodobé	Užitné
LC4	Užitné B	Proměnné	Krátkodobé	Užitné
LC5	Sníh rovnoměrný	Proměnné	Střednědobé	Sníh
LC6	Sníh nerovnoměrný A	Proměnné	Střednědobé	Sníh
LC7	Sníh nerovnoměrný B	Proměnné	Střednědobé	Sníh
LC8	Vítr příčný $C_{pi}=+0,2$ A	Proměnné	Krátkodobé	Vítr
LC9	Vítr příčný $C_{pi}=+0,2$ B	Proměnné	Krátkodobé	Vítr
LC10	Vítr příčný $C_{pi}=+0,2$ C	Proměnné	Krátkodobé	Vítr
LC11	Vítr příčný $C_{pi}=+0,2$ D	Proměnné	Krátkodobé	Vítr
LC12	Vítr příčný $C_{pi}=-0,3$ A	Proměnné	Krátkodobé	Vítr
LC13	Vítr příčný $C_{pi}=-0,3$ B	Proměnné	Krátkodobé	Vítr
LC14	Vítr příčný $C_{pi}=-0,3$ C	Proměnné	Krátkodobé	Vítr
LC15	Vítr příčný $C_{pi}=-0,3$ D	Proměnné	Krátkodobé	Vítr
LC16	Vítr podélný $C_{pi}=+0,2$	Proměnné	Krátkodobé	Vítr
LC17	Vítr podélný $C_{pi}=-0,3$	Proměnné	Krátkodobé	Vítr

Tabulka 5.3 - Skupiny zatížení

Jméno	Typ zatížení	Vztah
LG1	Stálé	-
Užitné	Kat. H: střechy	Standard
Sníh	Sníh	Výběrová
Vítr	Vítr	Výběrová

## 5.3 Kombinace zatížení

Kombinace byly ze zatěžovacích stavů vygenerovány na základě normových podkladů [5] programem Scia Engineer za použití typu EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor B pro mezní stav únosnosti. Jelikož se v konstrukci vyskytují prvky s konstrukční nelinearitou (táhla působící pouze v tahu), musely být vytvořeny nelineární kombinace pro nelineární výpočet modelu konstrukce. Pro MSÚ bylo takto vytvořeno celkem 248 nelineárních kombinací (značených NC1 až NC248). Pro MSP byly vytvořeny vybrané kombinace ručně.

Stálá zatížení se vyskytují ve všech kombinacích. Proměnná zatížení s totožnou skupinou zatížení ve vztahu standard (viz tabulky 5.2 a 5.3) se mohou vzájemně kombinovat. Proměnná zatížení s totožnou skupinou zatížení ve vztahu výběrová (viz tabulky 5.2 a 5.3) se nikdy vzájemně nekombinují (v kombinaci se může vyskytnout nejvýše jedno z nich).

S přihlédnutím k tomu, že se dle normy [5] navzájem nekombinují zatížení sněhem s užitným zatížením kategorie H a zároveň zatížení sněhem nabývá vyšších hodnot, byly zatěžovací stavy Užitné A a Užitné B vyřazeny z kombinování. Tento fakt snížil počet nelineárních kombinací a zkrátí tak celkovou dobu nelineárního výpočtu, který většinou bývá časově náročný.

## 5.4 Výpočetní model

Konstrukce byla nejprve nakreslena v programu AutoCAD jako prutový model a následně importována do Scia Engineer s přiřazením konkrétních profilů a materiálů. Výpočetní model ve Scia Engineer odpovídá obrázku 3.1.

Jednotlivé rámy jsou uloženy na pevných kloubových podporách. Vzájemný styk rámové stojky a příčle je modelován jako pružný s translačními a rotačními tuhosti přidělenými na základě modulů prokluzu spojovacích prostředků skutečně navrženého spoje. Tímto byl vysledován vliv tuhosti rámového rohu na průběh vnitřních sil v konstrukci a především na deformace konstrukce.

Rozpěry a táhla (ztužidlový systém) jsou k ráům připojeny kloubově. Táhlům je navíc přidělena konstrukční nelinearita (vyloučení tlakového působení). Vaznice jsou kloubově uloženy na horních hranách příčle (modelováno pomocí tuhého prutu s kloubem na konci). Obdobně jsou uloženy paždíky na stojkách.

Sloupky štítové stěny, uložené na pevných kloubových podporách, se opírají o krajní příčnou vazbu s tím, že tento kloubový styk je modelován s umožněním vertikální posunu (v globálním souřadném systému), aby se příčle krajní příčné vazby mohly v tomto směru volně deformovat a neovlivňovaly rozložení vnitřních sil ve sloupcích (nežádoucí osově přetížení těchto prvků).

Pro MSÚ byly uvažovány dva extrémní výpočtové modely: V prvním modelu je uvažováno, že vaznice a paždíky jsou na rámech uloženy neposuvně v podélném směru a napomáhají přenosu zatížení ze štítových stěn (například od podélného větru). Tento model byl použit pro získání návrhových vnitřních sil ve střešních vaznicích a paždicích (největší osově síly). Na základě skutečnosti, že vaznice a paždíky díky své tuhosti přebírají u prvního výpočtového modelu velký podíl zatížení na úkor primárního ztužidlového systému (rozpěry a táhla), byl vytvořen druhý výpočtový model, kde jsou vaznice a paždíky uloženy posuvně v podélném směru. Tento model byl poté použit pro získání návrhových vnitřních sil v prvcích ztužidlového systému.

## 6 POSUDEK ROZHODUJÍCÍCH NOSNÝCH PRVKŮ A ZTUŽENÍ

Tato kapitola se zabývá posudkem rozhodujících nosných prvků na základě návrhových hodnot vnitřních sil získaných nelineárním výpočtem ve Scia Engineer. U jednotlivých prvků jsou vždy vypsány provedené typy posudků spolu s uvažovanými vnitřními silami a s rozkládáním nelineárních kombinací, ze kterých byly tyto síly získány. Samotné posudky jsou poté uvedeny v kapitole 10.

### 6.1 Materiálové charakteristiky

Bylo použito kombinace lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL24h (rozpěry, vaznice, paždíky, prvky štítové stěny) a lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL28h (stojky, příčle). V tabulce 6.1 jsou uvedeny materiálové charakteristiky použitého dřeva. Táhla jsou vyrobena z konstrukční oceli třídy S460.

Tabulka 6.1 - Materiálové charakteristiky dřeva

	GL24h	GL28h	
$f_{m,k}$ [MPa]	24,00	28,00	charakteristická pevnost v ohybu
$f_{t,0,k}$ [MPa]	16,50	19,50	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0,40	0,45	charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům
$f_{c,0,k}$ [MPa]	24,00	26,50	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny
$f_{c,90,k}$ [MPa]	2,70	3,20	charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům
$f_{v,k}$ [MPa]	2,70	3,20	charakteristická pevnost ve smyku
$E_{0,mean}$ [MPa]	11600	12600	průměrný modul pružnosti v tahu a tlaku rovnoběžně s vlákny
$E_{0,05}$ [MPa]	9400	10200	5% kvantil modulu pružnosti v tahu a tlaku
$E_{90,mean}$ [MPa]	390	420	průměrný modul pružnosti v tahu a tlaku kolmo k vláknům
$G_{mean}$ [MPa]	720	780	průměrný modul pružnosti ve smyku
$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]	380	410	hustota
$\rho_{mean}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	450	490	průměrná hodnota hustoty

Návrhové hodnoty pevnostních parametrů dostaneme z charakteristických hodnot dle vztahu:

$$f_{*,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{*,k}}{\gamma_M} \quad (6.1)$$

Dílčí součinitel spolehlivosti  $\gamma_M$  pro lepené lamelové dřevo nabývá hodnoty 1,25. Modifikační součinitel  $k_{mod}$  je závislý na třídě provozu a době trvání zatížení s nejkratší dobou

působení. U všech posudků dřevěných prvků je brána hodnota 0,9 - třída provozu 2, krátkodobé zatížení (v klíčových kombinacích se vyskytuje vždy zatížení větrem).

## 6.2 Posudek prvků

Veškeré dřevěné prvky nosné konstrukce jsou z hraněných profilů, pro jejich průřezové charakteristiky v závislosti na rozměrech  $b$ ;  $h$  (viz obrázek 6.1) tedy platí následující vztahy:

$$A = b \cdot h \quad (6.2)$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad (6.3)$$

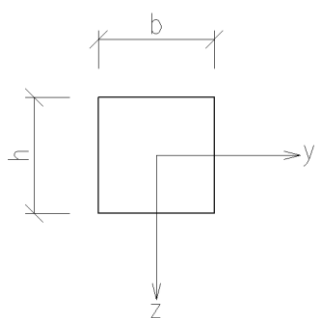
$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h \quad (6.4)$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \quad (6.5)$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h \quad (6.6)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (6.7)$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} \quad (6.8)$$



Obrázek 6.1- Hraněný průřez pro výpočet průřezových charakteristik

Smykové napětí (za ohybu) od posouvající síly  $V_{Ed}$  s uvažáním součinitele vlivu trhlin  $k_{cr} = 0,67$  se vypočte dle vztahu:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{ef}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{k_{cr} \cdot A} \quad (6.9)$$

Normálové napětí od tlakové, respektive tahové síly  $N_{Ed}$  rovnoběžné s vlákny se vypočte dle vztahu:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} \text{ resp. } \sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} \quad (6.10)$$

Normálové napětí od ohybového momentu  $M_{Ed,y}$ , respektive  $M_{Ed,z}$  se vypočte dle vztahu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{|M_{Ed,y}|}{W_y} \text{ resp. } \sigma_{m,z,d} = \frac{|M_{Ed,z}|}{W_z} \quad (6.11)$$

U štíhlých tlačných prutů je nezbytné zohlednit vliv vzpěru prostřednictvím součinitele vzpěrnosti  $k_{c,y}$ , respektive  $k_{c,z}$ . Postup jeho stanovení vyjadřují následující vztahy:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \text{ resp. } \lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \quad (6.12)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \text{ resp. } \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.13)$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \text{ resp. } k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (6.14)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \text{ resp.}$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (6.15)$$

Ztráta příčné a torzní stability (klopení) se zohlední prostřednictvím součinitele klopení  $k_{crit}$  dle následujících vztahů:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (6.16)$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot L_{ef}} \cdot E_{0,05} \quad (6.17)$$

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \quad (6.18a)$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} \quad \text{pro } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \quad (6.18b)$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad \text{pro } 1,4 < \lambda_{rel,m} \quad (6.18c)$$

Pro posudek v MSÚ na únosnost ve smyku musí být splněna podmínka dle vztahu:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (6.19)$$



Pro posudek v MSÚ na únosnost ve vzpěrném tlaku musí být splněny podmínky dle vztahů:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d} \quad (6.20)$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} \quad (6.21)$$

Pro posudek v MSÚ na únosnost v tahu rovnoběžně s vlákny musí být splněna podmínka dle vztahu:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (6.22)$$

Pro posudek v MSÚ na únosnost v kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku s uvážením součinitele dvojosého ohybu pro obdélníkové průřezy  $k_m = 0,7$  musí být splněny podmínky dle vztahů:

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.24)$$

Pro posudek v MSÚ na únosnost v kombinaci dvojosého ohybu a tahu s uvážením součinitele dvojosého ohybu pro obdélníkové průřezy  $k_m = 0,7$  musí být splněny podmínky dle vztahů:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{m,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.25)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{m,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.26)$$

Pro posudek v MSÚ na únosnost v kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku musí být splněny podmínky dle vztahů:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.27)$$

$$\left( \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.28)$$

Pro ocelový prvek namáhaný tahovou silou musí být splněna podmínka dle vztahu:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.29)$$

Pro posudek v MSP je třeba ověřit, zda jsou splněna kritéria pro okamžitou a konečnou deformaci prvku. Okamžité deformace jsou počítány programem Scia Engineer pro charakteristické hodnoty zatížení. Konečné deformace lze z okamžitých získat dle vztahů:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad (6.30)$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} \cdot (1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad (6.31)$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} \cdot (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad (6.32)$$

### 6.2.1 Rám

Jelikož dokonale tuhé spoje nejsou u dřevěných konstrukcí téměř možné, má se při stanovení vzpěrných délek uvážit vliv pootočení. Torzní pružinovou tuhost  $K_r$  poddajného spoje lze stanovit pomocí modulu prokluzu spojovacího prostředku v MSÚ  $K_u$ , popřípadě modulu prokluzu spojovacího prostředku v MSP  $K_{ser}$  dle vztahů:

$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d}{23} \quad (6.33)$$

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \quad (6.34)$$

$$K_{r,u} = \sum_{i=1}^n K_u \cdot r_i^2 \quad resp. \quad K_{r,ser} = \sum_{i=1}^n K_{ser} \cdot r_i^2 \quad (6.35)$$

Pro torzní pružinovou tuhost dvojstřížného spoje s  $n$  stejnými spojovacími prostředky v MSÚ tedy platí vztah (analogicky lze vypočítat i pro MSP):

$$K_{r,u} = 2 \cdot (K_u \cdot r_1^2 + K_u \cdot r_2^2 + K_u \cdot r_3^2 + \dots + K_u \cdot r_n^2) \quad (6.36)$$

Translační tuhost spoje je dána součtem modulů prokluzu jednotlivých spojovacích prostředků. Pro dvojstřížný spoj s  $n$  stejnými spojovacími prostředky v MSÚ tedy platí vztah (analogicky lze vypočítat i pro MSP):

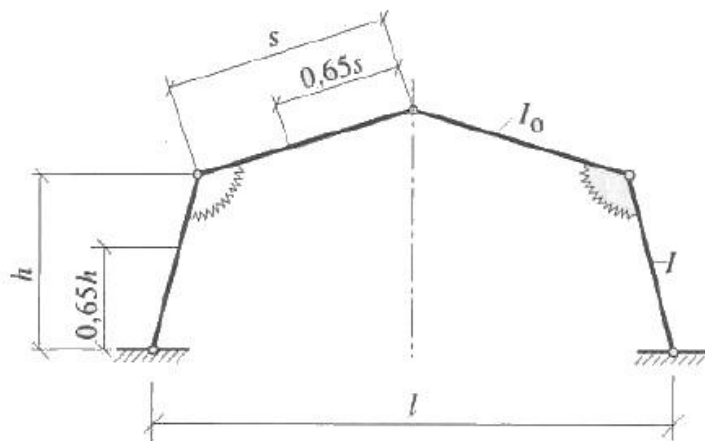
$$K_{t,u} = 2 \cdot n \cdot K_u \quad (6.37)$$

Pro dvojkolbové a trojkolbové rámy se sklonem stojek menším než  $15^\circ$  (viz obrázek 6.2) lze pro určení vzpěrné délky stojky pro vybočení v rovině rámu užít vztah (6.38) a pro určení vzpěrné délky příčle pro vybočení v rovině rámu vztah (6.39). Použití těchto vzpěrných délek zároveň zohledňuje účinek imperfekcí a deformací podle teorie II. řádu.

$$l_{ef} = h \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{I \cdot s}{I_0 \cdot h} + 10 \cdot \frac{E \cdot I}{h \cdot K_r}} \quad (6.38)$$

$$l_{ef} = h \cdot \sqrt{4 + 3,2 \cdot \frac{I \cdot s}{I_0 \cdot h} + 10 \cdot \frac{E \cdot I}{h \cdot K_r} \cdot \sqrt{\frac{I_0 \cdot N}{I \cdot N_0}}} \quad (6.39)$$

V případě proměnného průřezu se dovolují do vztahů (6.38) a (6.39) dosadit průřezové hodnoty v místě 0,65s popřípadě 0,65h (viz obrázek 6.2).



Obrázek 6.2 - Určení vzpěrných délek rovinných ráků (Zdroj: [2])

## Příčel

Navržený průřez: **200/600** (vrcholový kloub), **200/1380** (rámový roh), **GL28h**

Staticky je příčel vetknutá (ve skutečnosti poddajný spoj s rotační tuhostí dle vztahu (6.36)) v místě rámového rohu a ve vrcholu kloubově připojena s druhým kusem příčle, čemuž odpovídá i průběh ohybových momentů v prvku (viz obrázek 6.3) korespondující s proměnným průřezem.

Pro posudek rámové příčle byla použita vzpěrná délka v rovině příčné vazby vypočtená dle vztahu (6.39). Vzpěrná délka z roviny příčné vazby i účinná délka při klopení jsou dány vzdáleností mezi rozpěrami.

Byly provedeny tyto posudky:

- **Smyk** – Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$  v místě rámového rohu - NC120  
(1,15·LC1+1,15·LC2+1,5·LC5+0,9·LC12)
- **Kombinace ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku** – Maximální ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušná tlaková síla  $N_{Ed}$  v místě rámového rohu – NC120  
(1,15·LC1+1,15·LC2+1,5·LC5+0,9·LC12)
- **MSP** – svislý posun ve vrcholu - 1,0·LC1+1,0·LC2+1,0·LC5+0,6·LC12

## Stojka

Navržený průřez: **2x120/800** (uložení), **2x120/1380** (rámový roh), **GL28h**

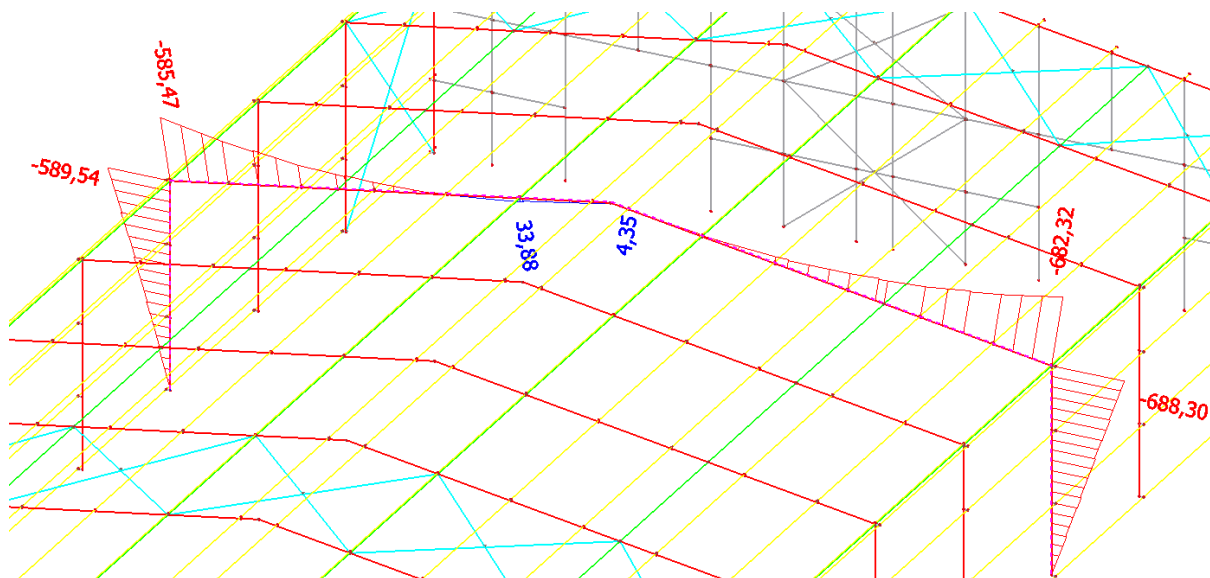
Vzhledem k možnosti provedení svorníkového rámového rohu se stojka sestává ze dvou stejných dílů. Prostor mezi díly na vnitřní straně je vyplněn dřevnou vložkou, která je připevněna k dílům stojky pomocí svorníků M12.

Staticky je stojka vetknutá (ve skutečnosti poddajný spoj s rotační tuhostí dle vztahu (6.36)) v místě rámového rohu a dole v základech kloubově uložena. Stejně jako v případě příčle byl zvolen proměnný průřez s ohledem na průběh ohybových momentů v prvku (viz obrázek 6.3).

Pro posudek rámové příčle byla použita vzpěrná délka v rovině příčné vazby vypočtená dle vztahu (6.38). Vzpěrná délka z roviny příčné vazby i účinná délka při klopení jsou dány délkou prvku. Jelikož vodorovná deformace stojky v příčném směru je zanedbatelná ( $w_{inst} = 12 \text{ mm}$ , tj.  $L/480$ ), nebyl proveden posudek v MSP.

Byly provedeny tyto posudky:

- **Smyk** – Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$  v místě uložení – NC120  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC5 + 0,9 \cdot LC12$ )
- **Kombinace ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku** – Maximální ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušná tlaková síla  $N_{Ed}$  v místě rámového rohu – NC120  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC5 + 0,9 \cdot LC12$ )



Obrázek 6.3 - Průběh ohybových momentů v příčné vazbě (kombinace NC120)

### 6.2.2 Rozpěra

Navržený průřez: **140/160, GL24h**

Rozpěra je kloubově připojena k příčlím v oblasti jejich těžišťových os. Jako součást ztužidlového systému přenáší zejména horizontální zatížení v podélném směru, z čehož vyplývá převážně její osově namáhání (rozpírá jednotlivé příčné vazby). Posouvající síly a ohybové momenty vznikající od zatížení vlastní tíhou prvku jsou tudíž v posudecích zanedbávány. Vzpěrná délka rozpěry je dána systémovou délkou prvku.

Byly provedeny tyto posudky:

- **Vzpěrný tlak** – Maximální tlaková síla  $N_{Ed}$  - NC129  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 0,9 \cdot LC17$ )
- **Tah rovnoběžné s vlákny** - Maximální tahová síla  $N_{Ed}$  - NC212  
( $1,0 \cdot LC1 + 1,0 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC15$ )

### 6.2.3 Ztužidlo

Navržený průřez: **RD15, S460**

Bylo užito konstrukčního táhla společnosti Macalloy vyrobeného z oceli s mezí kluzu  $f_y = 460$  MPa. Konstrukční táhla Macalloy 460 se vyznačují účinnou antikorozní ochranou a vynikající odolností proti únavě materiálu. Táhla jsou napínána pomocí specializovaného hydraulického zařízení TechnoTensioner.

Staticky je ztužidlo kloubově připojeno v místě napojení rozpěry na příčel. S ohledem na obrovskou štíhlost prvku, kdy by u štíhlého ocelového táhla došlo vlivem tlakového namáhání ke ztrátě stability (vybočení prvku), je zcela vyloučené tlakové působení (konstrukční nelinearita – prvek působící pouze v tahu). Posouvající síly a ohybové momenty od vlastní tíhy jsou zanedbávány.

Byl proveden tento posudek:

- **Tah** - Maximální tahová síla  $N_{Ed}$  - NC36 ( $1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC6 + 0,9 \cdot LC12$ )

### 6.2.4 Vaznice

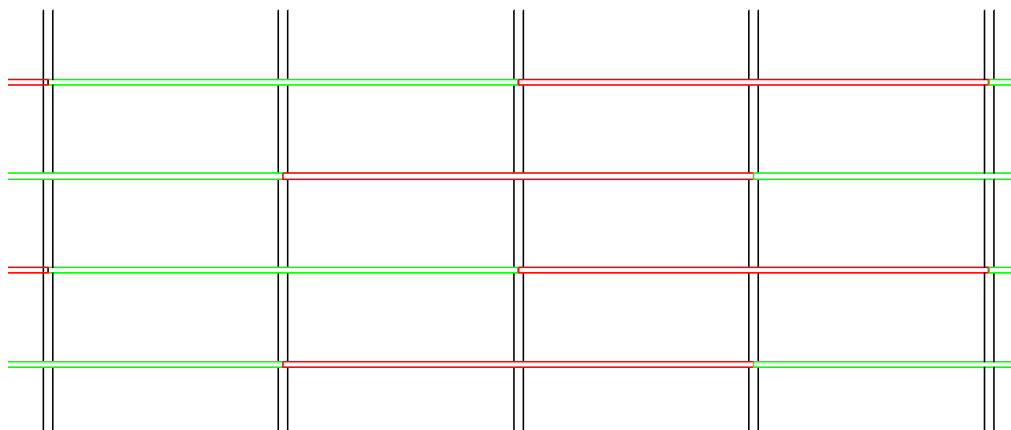
Navržený průřez: **120/240, GL24h**

Vaznice jsou ukládány shora na příčle spojitě přes dvě pole haly a jsou k příčlím kloubově připevněny. V krajních polích jsou z důvodu střešního přesahu vykonzolovány. Pro kompaktnější prostorové působení a rovnoměrné zatěžování jednotlivých příčných vazeb je zvoleno šachovnicové uspořádání vaznic (viz obrázek 6.4).

Vaznice se spolu s rozpěrami podílí na přenosu zatížení v podélném směru a účinně zabráňují klopení příčlů. Vzhledem k tomu, že jsou vaznice zajištěny proti vybočení podhledem z OSB desek a laťováním, není při posudcích uvažován vzpěr ani klopení.

Byly provedeny tyto posudky:

- **Smyk** – Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$  - NC117  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC5 + 0,9 \cdot LC13$ )
- **Kombinace dvojosého ohybu a prostého tlaku** – Maximální ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{z,Ed}$  + příslušná tlaková síla  $N_{Ed}$  – NC117  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC5 + 0,9 \cdot LC13$ )
- **Kombinace dvojosého ohybu a prostého tlaku** – Maximální ohybový moment  $M_{z,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušná tlaková síla  $N_{Ed}$  – NC102  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC7$ )
- **Kombinace dvojosého ohybu a prostého tlaku** – Maximální tlaková síla  $N_{Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{z,Ed}$  – NC120  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC5 + 0,9 \cdot LC12$ )
- **MSP** – svislý průhyb v poli -  $1,0 \cdot LC1 + 1,0 \cdot LC2 + 1,0 \cdot LC5 + 0,6 \cdot LC13$



Obrázek 6.4 - Šachovnicové uspořádání vaznic

### 6.2.5 Paždík

Navržený průřez: **120/240, GL24h**

Paždíky jsou kloubově připevněny ke stojkám na délku jednoho pole haly. Vzhledem k tomu, že jsou paždíky obdobně jako vaznice zajištěny proti vybočení OSB deskami a laťováním, není při posudcích uvažován vzpěr ani klopení.

Byly provedeny tyto posudky:

- **Smyk** – Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$  - NC202  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC5 + 1,5 \cdot LC16$ )
- **Kombinace dvojosého ohybu a tahu** – Maximální ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{z,Ed}$  + příslušná tahová síla  $N_{Ed}$  – NC117  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC5 + 0,9 \cdot LC13$ )
- **Kombinace dvojosého ohybu a prostého tlaku** – Maximální ohybový moment  $M_{z,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušná tlaková síla  $N_{Ed}$  – NC14  
( $1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 0,9 \cdot LC15$ )
- **Kombinace dvojosého ohybu a tahu** – Maximální tahová síla  $N_{Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{z,Ed}$  – NC126  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC7 + 0,9 \cdot LC16$ )
- **MSP** – vodorovný průhyb v poli -  $1,0 \cdot LC1 + 1,0 \cdot LC2 + 1,0 \cdot LC5 + 0,6 \cdot LC13$

## 6.2.6 Štítová stěna

### Sloupek

Navržený průřez: **140/240, GL24h**

Sloupky štítové stěny jsou kloubově uloženy do základů, nahoře se opírají o krajní příčné vazby s umožněním volné vertikální deformace příčné vazby. Prvky jsou namáhány převážně ohybem od působícího horizontálního zatížení na štítové stěny. Ze stejného důvodu jako u vaznic a paždíků není opět při posudcích uvažován vzpěr ani klopení.

Byly provedeny tyto posudky:

- **Smyk** – Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$  – NC212 ( $1 \cdot LC1 + 1 \cdot LC2 + 0,9 \cdot LC16$ )
- **Kombinace dvojosého ohybu a prostého tlaku** – Maximální ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{z,Ed}$  + příslušná tlaková síla  $N_{Ed}$  – NC183  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC6 + 1,5 \cdot LC9$ )
- **Kombinace dvojosého ohybu a prostého tlaku** – Maximální ohybový moment  $M_{z,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušná tlaková síla  $N_{Ed}$  – NC195  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC6 + 1,5 \cdot LC13$ )
- **Kombinace dvojosého ohybu a prostého tlaku** – Maximální tlaková síla  $N_{Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{z,Ed}$  – NC195  
( $1,15 \cdot LC1 + 1,15 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC6 + 1,5 \cdot LC13$ )

## Překládová příčel

Navržený průřez: **120/160, GL24h**

Překládová příčel slouží k překlenutí otvoru nad vraty, kterými se vchází a vjíždí do objektu. Je kloubově připevněna ke sloupkům štítové stěny.

Byly provedeny tyto posudky:

- **Kombinace dvojosého ohybu a tahu** – Maximální ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{z,Ed}$  + příslušná tahová síla  $N_{Ed}$  – NC15  
(1,35·LC1+1,35·LC2 +0,9·LC16)
- **Kombinace dvojosého ohybu a tahu** – Maximální ohybový moment  $M_{z,Ed}$  + příslušný ohybový moment  $M_{y,Ed}$  + příslušná tahová síla  $N_{Ed}$  – NC212  
(1,0·LC1+1,0·LC2+1,5·LC15)

### 6.2.7 Ostatní prvky

Průřezy latí, jejich rozteče a tloušťka OSB desek byly navrženy tak, aby bezpečně vyhověly oběma mezním stavům (ověřeno, ale neuvedeno v rámci statického výpočtu).



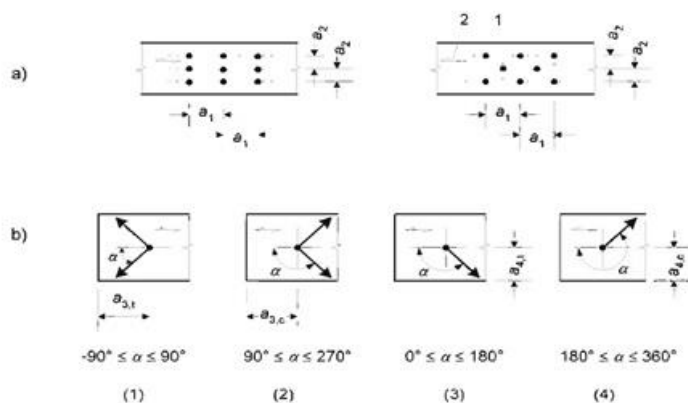
## 7 POSUDEK SPOJŮ

Tato kapitola řeší posudek vybraných spojů nosných prvků a způsob založení objektu. K vybraným detailům byly rovněž pro lepší názornost vytvořeny 3D vizualizace v programu AutoCAD 2014. Samotné posudky lze nalézt v kapitole 10. Detaily navržených spojů jsou přiloženy ve výkresové dokumentaci.

### 7.1 Pravidla pro svorníkové spoje

Uspořádání a rozměry spojovacích prostředků ve spoji a rozteče spojovacích prostředků, vzdálenosti od okrajů a konců se musí zvolit tak, aby byla dosažena očekávaná pevnost a tuhost. Na obrázku 7.1 jsou znázorněny minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců pro svorníky.

Rozteče a vzdálenosti od konců/okrajů (viz obrázek 8.7)	Úhel	Minimální rozteče nebo vzdálenosti
$a_1$ (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 +  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (kolmo k vláknům)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,l}$ (zatižený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d, 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (nezatižený konec)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha) d, 4d]$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha) d, 4d]$
$a_{4,l}$ (zatižený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha) d, 3d]$
$a_{4,c}$ (nezatižený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

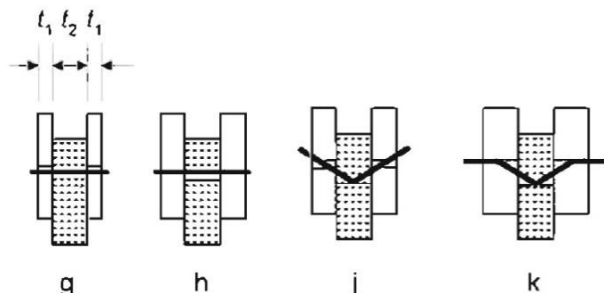


#### Legenda

- (1) Zatižený konec
- (2) Nezatižený konec
- (3) Zatižený okraj
- (4) Nezatižený okraj
- 1 Spojovací prostředek
- 2 Směr vláken

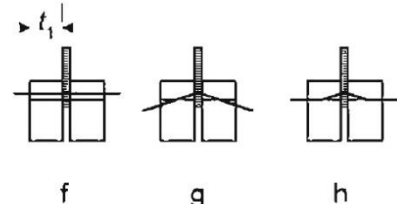
Obrázek 7.1 - Minimální hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky (Zdroj: [14])

Na obrázku 7.2 je zobrazen výpočet charakteristických hodnot únosnosti jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku pro dvojstřížný spoj dřevěných prvků a jim odpovídající typy porušení.

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$


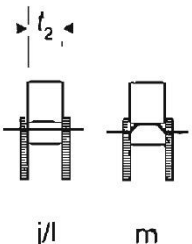
Obrázek 7.2 – Dvojstřížný spoj dřevo-dřevo: Únosnost a odpovídající typy porušení (Zdroj: [14])

Na obrázku 7.3 je zobrazen výpočet charakteristických hodnot únosnosti jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku pro spoj s ocelovou deskou libovolné tloušťky jako středním prvkem dvojstřížného spoje a jim odpovídající typy porušení.

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (f) \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (h) \end{cases} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$


Obrázek 7.3 – Dvojstřížný spoj ocel-dřevo se středním ocelovým prvkem: Únosnost a odpovídající typy porušení (Zdroj: [14])

Na obrázku 7.4 je zobrazen výpočet charakteristických hodnot únosnosti jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku pro spoj s tenkými ocelovými deskami jako vnějšími prvky dvojstřížného spoje a jim odpovídající typy porušení.

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (l) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (m) \end{cases}$$


Obrázek 7.4 – Dvojstřížný spoj ocel-dřevo s krajními ocelovými prvky (tlusté desky): Únosnost a odpovídající typy porušení (Zdroj: [14])

U svorníkových spojů dle obrázků 7.3 a 7.4 je také nutné posoudit pevnost ocelové desky. Výpočet únosnosti ocelové desky v tahu se provede dle vztahu (7.1), únosnosti v ohybu dle vztahu (7.2) a únosnosti v otláčení dle vztahů (7.3) až (7.5).

$$N_{Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (7.1)$$

$$M_{Rd} = W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (7.2)$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \cdot d \cdot t \quad (7.3)$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{cases} \quad (7.4)$$

$$\alpha_b = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{f_{u,k}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 \end{cases} \quad (7.5)$$

Pro svorníky se hodnota plastického momentu v závislosti na průměru dřívku  $d$  a charakteristické pevnosti v tahu  $f_{u,k}$  stanoví dle vztahu:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (7.6)$$

Pro svorníky do průměru 30 mm se charakteristická pevnost v otlacení ve dřevu rovnoběžně s vlákny vypočte dle vztahu (7.7). Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevu pro úhel  $\alpha$  k vláknům se vypočte dle vztahu (7.8):

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad (7.7)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (7.8)$$

$$k_{90} = 1,3 + 0,015 \cdot d \quad (7.9)$$

Pro jednu řadu tvořenou  $n$  svorníky rovnoběžně s vlákny se má únosnost rovnoběžně s vlákny vypočítat s použitím účinného počtu svorníků  $n_{ef}$  dle vztahu (7.10). Pro zatížení kolmo k vláknům je účinný počet svorníků v řadě roven přímo počtu svorníků v řadě. Pro mezilehlé úhly lze hodnotu účinného počtu svorníků v řadě interpolovat.

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\} \quad (7.10)$$

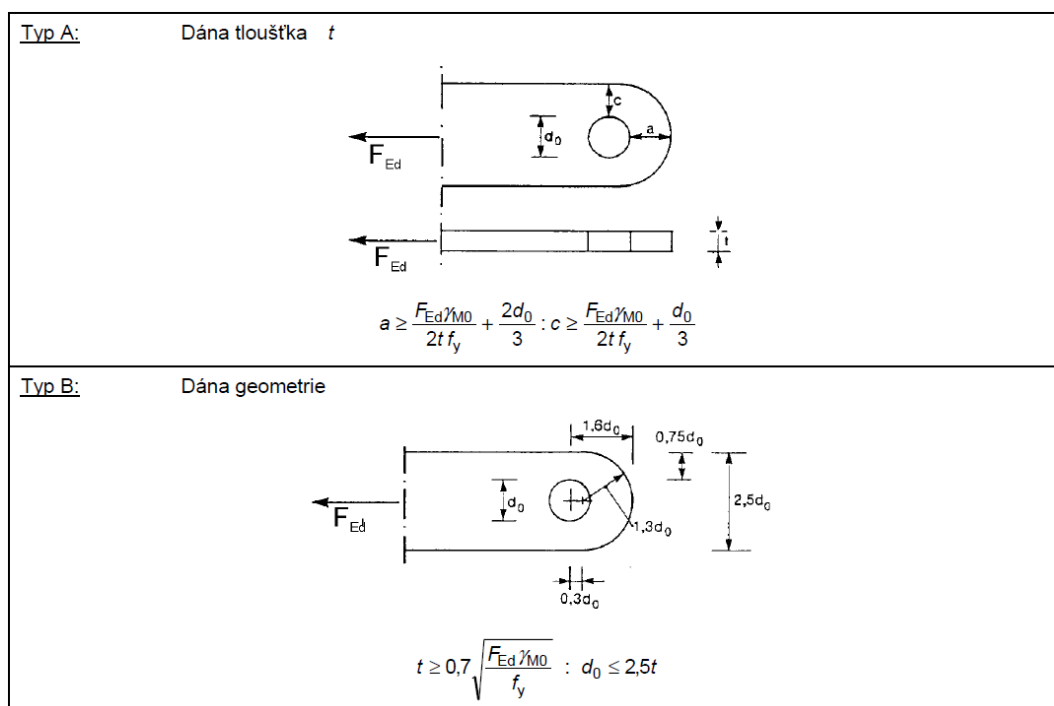
Návrhová únosnost dvojstřížného spoje zatíženého silou pod úhlem  $\alpha$  k vláknům s účinným počtem svorníků v řadě  $n_{ef,\alpha}$  se poté získá dle vztahu:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot n_{ef,\alpha} \cdot n_{řad} \cdot k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (7.11)$$

Norma [14] požaduje pod hlavu a matici svorníku použití podložek o průměru alespoň  $3d$  a tloušťce alespoň  $0,3d$ .

## 7.2 Pravidla pro čepové spoje

Čepy se musí zajistit všude, kde hrozí jejich ztráta, a mají být uspořádány tak, aby se zabránilo excentricitě. Geometrie nevyztužených prvků spojených čepovým spojem je uvažována dle obrázku 7.5.



Obrázek 7.5 - Geometrické požadavky na pruty ukončené čepovými spoji (Zdroj:[13])

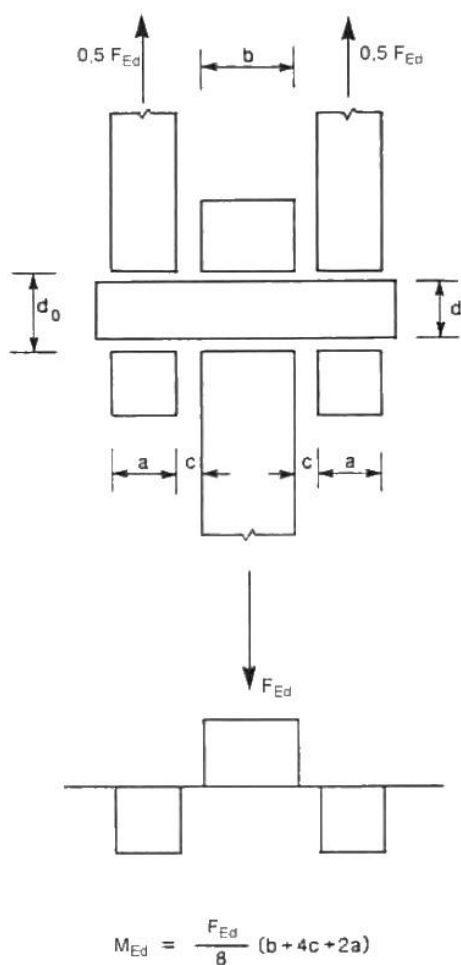
Pro čepové spoje mají být splněny podmínky na únosnost čepu ve střihu dle vztahu (7.12), únosnost plechu a čepu v otláčení dle vztahu (7.13), únosnost čepu v ohybu dle vztahu (7.14), únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu dle vztahu (7.15). Pro výpočet návrhové hodnoty ohybového momentu v čepu byl použit obrázek 7.6.

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A \cdot \frac{f_{up}}{\gamma_{M2}} \quad (7.12)$$

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (7.13)$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{et} \cdot \frac{f_{yp}}{\gamma_{M0}} \quad (7.14)$$

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1 \quad (7.15)$$



Obrázek 7.6 - Ohybový moment v čepu (Zdroj:[13])

### 7.3 Pravidla pro svarové spoje

Návrhová únosnost koutových svarů je počítána s uvažováním směru namáhání, kde se síly rozkládají do složek rovnoběžných a příčných vzhledem k ose svaru a složek kolmých a příčných vzhledem k účinné rovině svaru (viz obrázek 7.7). Tyto složky napjatosti (složka normálového napětí rovnoběžného s osou svaru  $\sigma_1$  se zanedbává) oboustranných koutových svarů se vypočtou dle vztahů (7.16) až (7.18). Pro únosnost koutového svaru musí být splněny podmínky dle vztahů (7.19) a (7.20).

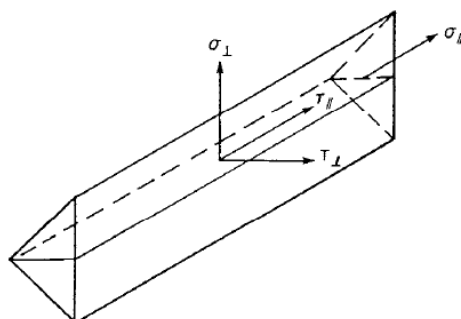
$$\tau_{\parallel} = \frac{|F_{\parallel,Ed}|}{A_w} = \frac{|F_{\parallel,Ed}|}{2 \cdot a \cdot L} \quad (7.16)$$

$$\sigma_w = \frac{|F_{\parallel,Ed}| \cdot e}{W_w} + \frac{|F_{\perp,Ed}|}{A_w} = \frac{|F_{\parallel,Ed}| \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot L^2} + \frac{|F_{\perp,Ed}|}{2 \cdot a \cdot L} \quad (7.17)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} \quad (7.18)$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (7.19)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (7.20)$$



Obrázek 7.7 - Napětí v účinném průřezu svaru (Zdroj:[13])

Krom výše uvedeného je třeba ověřit minimální účinnou délku nosných svarů. Platí, že koutové svary s účinnou délkou menší než 30 mm a menší než šestinásobek účinné tloušťky nemají být používány pro přenášení zatížení. U svarů delších než stopadesátinásobek účinné tloušťky se musí únosnost redukovat.

## 7.4 Posudek spojů

### 7.4.1 Rámový roh

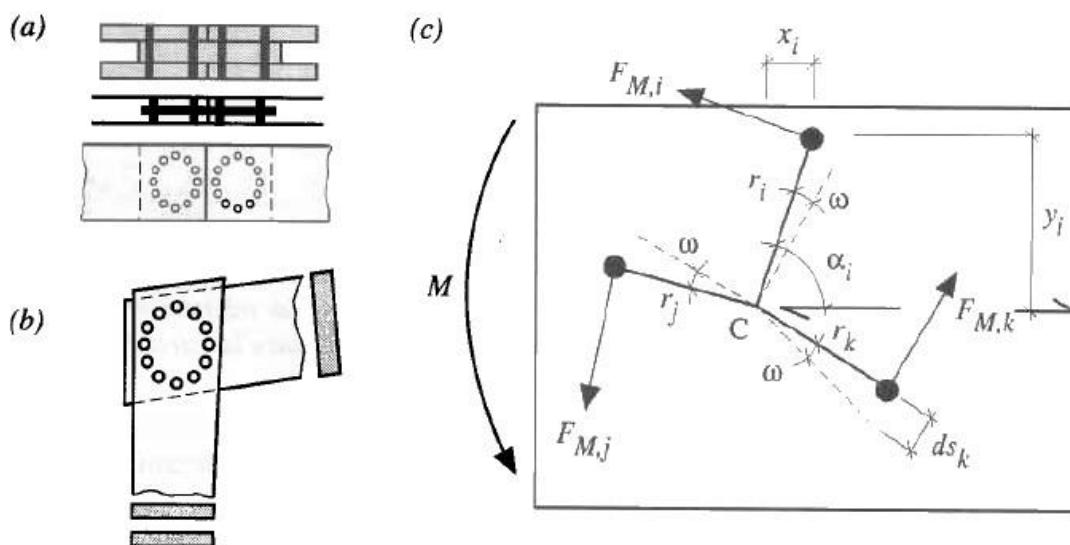
Jedná se o ohybově tuhý spoj (viz obrázek 7.8) příčle a dvoudílné stojky, kdy je příčle vsunuta mezi oba díly stojky. Styk je realizován pomocí přesných svorníků třídy pevnosti 8.8 o průměru 20 mm. Svorníky jsou uspořádány do dvou soustředných kruhů o poloměrech  $r_1 = 550$  mm (34 kusů svorníků) a  $r_2 = 450$  mm (28 kusů svorníků). Přesný detail spoje je přiložen ve výkresové dokumentaci.

V normových podkladech pro navrhování dřevěných konstrukcí nejsou uvedeny minimální vzdálenosti spojovacích prostředků momentových spojů. Byly proto s přihlédnutím k doporučením odborné literatury [2] zvoleny tyto hodnoty ( $d$  je průměr spojovacího prostředku):

Vzdálenost od okraje	7d
Vzdálenost od konce	7d
Vzdálenost mezi spojovacími prostředky uvnitř kruhu	5d
Vzdálenost mezi kruhy	5d

Konstrukční prvky se zjednodušeně předpokládají nekonečně tuhé, protože mají větší tuhost a pevnost než samotný spoj. Pootočení ve spoji proto vyplývá z torzního posunutí  $\omega$  spojovacích prostředků. Se středem otáčení C vychází momentová podmínka rovnováhy jako suma součinů zatížení jednotlivých spojovacích prostředků a jejich vzdáleností od středu otáčení dle vztahu (7.21). Jednotlivé spojovací prostředky jsou přitom namáhány pod různými úhly k vláknům.

$$M = \sum_{i=1}^n F_{M,i} \cdot r_i \quad (7.21)$$



Obrázek 7.8 - Spoj tuhý v ohybu: a) styk přímého konstrukčního prvku, b) zkříženě uspořádané konstrukční prvky, c) geometrie a zatížení spojovacího prostředku (Zdroj: [2])

Při navrhování spoje se musí také ověřit namáhání dřevěných prvků v oblasti spoje, přičemž se sčítají složky sil ve směru svislé osy průřezu prvku přenášené spojovacími prostředky na jedné straně těžiště. Takto vyvozenou smykovou sílu lze spočítat dle vztahu (7.22). Posudek smykové únosnosti dle vztahu (7.24) (neuvažuje se součinitel vlivu trhlin  $k_{cr}$  jako u posudku smyku za ohybu) je poté nutné provést pro posouvající sílu dle vztahu (7.23) (index C platí pro stojku, index R platí pro příčel).

$$V_M = \left[ \frac{M_{Ed}}{\pi} \cdot \frac{n_1 \cdot r_1 + n_2 \cdot r_2}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2} \right] \quad (7.22)$$

$$F_{V,Ed,C} = V_M - \frac{V_{Ed,C}}{2} \text{ resp. } F_{V,Ed,R} = V_M - \frac{V_{Ed,R}}{2} \quad (7.23)$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{V,Ed,*}}{A} \leq f_{v,d} \quad (7.24)$$



Přenášený ohybový moment  $M_{Ed}$  vyvozuje namáhání  $F_M$  spojovacího prostředku. Tato síla je kolmá ke spojnici spojovacího prostředku se středem otáčení (viz obrázek 7.8) a je přímo úměrná vzdálenosti od středu otáčení C. Největší hodnota se pro daný spoj vypočte dle vztahu:

$$F_M = \frac{r_1}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2} \quad (7.25)$$

Posouvající síla  $V_{Ed}$  a normálová síla  $N_{Ed}$  se rozdělují na spojovací prostředky stejnoměrně. Pro zatížení spojovacího prostředku uvedeného spoje tedy platí vztahy:

$$F_{V,C} = \frac{V_{Ed,C}}{n_1 + n_2} \text{ resp. } F_{V,R} = \frac{V_{Ed,R}}{n_1 + n_2} \quad (7.26)$$

$$F_{N,C} = \frac{N_{Ed,C}}{n_1 + n_2} \text{ resp. } F_{N,R} = \frac{N_{Ed,R}}{n_1 + n_2} \quad (7.27)$$

Celkové zatížení spojovacího prostředku se získá vektorovým součtem dílčích zatížení od ohybového momentu, posouvající a normálové síly. Nejvíce namáhaným spojovacím prostředkem je spojovací prostředek, u něhož je směr výslednice zatížení od  $V_{Ed}$  a  $N_{Ed}$  shodný se směrem zatížení od  $M_{Ed}$ . Pro návrh spoje však z důvodu měnící se pevnosti v otlacení stěny otvoru v závislosti na úhlu mezi směrem namáhání a směrem vláken rozhoduje dle odborné literatury [2] spojovací prostředek, který se nachází v blízkosti podélné osy konstrukčního prvku.

V rámci této práce byly posouzeny všechny spojovací prostředky vnějšího kruhu (34 posudků) a zeleně vyznačeny tři nejvíce využívané spojovací prostředky (viz kapitola 10). Při posudku v ose stojky se skutečně rozhodující spojovací prostředky nachází poblíž podélné osy prvku, při posudku v ose příčle však bylo tohle pravidlo vyvráceno.

Pro výpočet zatížení jednotlivých spojovacích prostředků v ose stojky byly použity vztahy:

$$F_{Ed,C,\perp} = F_{V,C} + F_M \cdot \cos \alpha_{M,C} \quad (7.28)$$

$$F_{Ed,C,\parallel} = F_{N,C} - F_M \cdot \sin \alpha_{M,C} \quad (7.29)$$

$$F_{Ed,C} = \sqrt{F_{Ed,C,\perp}^2 + F_{Ed,C,\parallel}^2} \quad (7.30)$$

$$\alpha_{F,C} = \arccos\left(\frac{F_{Ed,C,\parallel}}{F_{Ed,C}}\right) \quad (7.31)$$

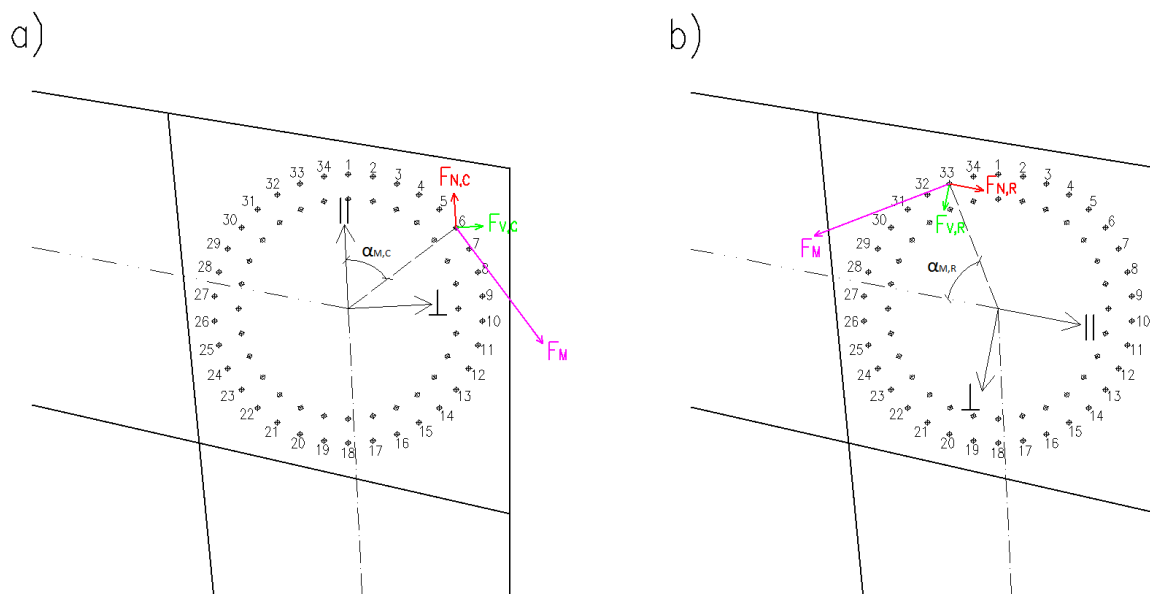
Pro výpočet zatížení jednotlivých spojovacích prostředků v ose příčle byly použity vztahy:

$$F_{Ed,R,\perp} = F_{V,R} + F_M \cdot \cos \alpha_{M,R} \quad (7.32)$$

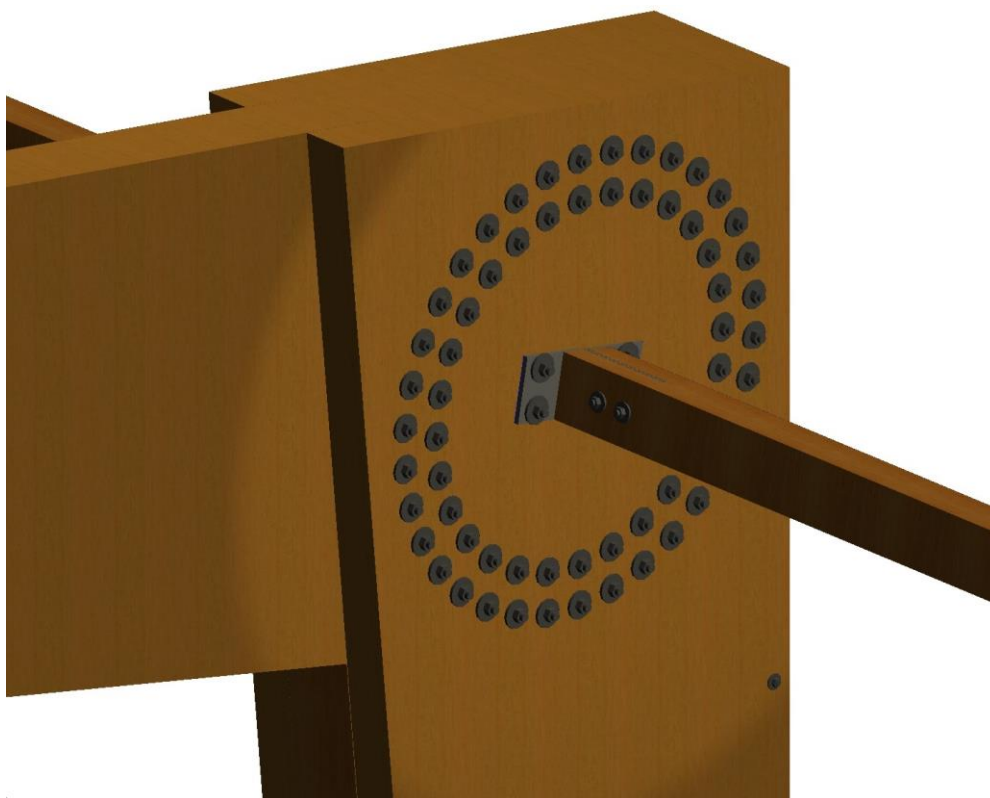
$$F_{Ed,R,\parallel} = F_{N,R} - F_M \cdot \sin \alpha_{M,R} \quad (7.33)$$

$$F_{Ed,R} = \sqrt{F_{Ed,R,\perp}^2 + F_{Ed,R,\parallel}^2} \quad (7.34)$$

$$\alpha_{F,R} = \arccos\left(\frac{F_{Ed,R,\parallel}}{F_{Ed,R}}\right) \quad (7.35)$$



Obrázek 7.9 – Rozdělení zatížení s očíslováním spojovacích prostředků vnějšího kruhu: a) pro posudek v ose stojky; b) pro posudek v ose přičle



Obrázek 7.10 - Rámový roh (vizualizace)

## 7.4.2 Patní kloub

Jedná se o kloubový přípoj stojky na ŽB základovou patku, který je proveden prostřednictvím čepového ložiska. Stojka je k ložisku připevněna 12 svorníky třídy pevnosti 8.8 o průměru 20 mm pomocí vložených styčnickových plechů z oceli S355 tloušťky 20 mm. Styčnickové plechy jsou navařeny koutovými svary k čelnímu plechu z oceli S355 tloušťky 30 mm. Navržený čep je z oceli S355 a má průměr 40 mm. Patní plech z oceli S355 tloušťky 30 mm je uložen na vrstvu cementové malty o výšce 40 mm a je k základu kotven pomocí čtyř kotevních šroubů třídy pevnosti 8.8 o průměru 24 mm. Vrchní čepový plech z oceli S355 tloušťky 20 mm je k čelnímu plechu připevněn koutovými svary. Spodní čepové plechy z oceli S355 tloušťky 14 mm jsou k patnímu plechu z důvodu proveditelnosti přivařeny pomocí tupých  $\frac{1}{2}$  V svarů. Ke spodním čepovým plechům jsou navíc z obou stran navařeny výztuhy, které spolu s tuhým patním plechem zajišťují spolehlivý roznos zatížení do základů na celé kontaktní ploše a zároveň slouží k napojení svislých ztužidel v krajních a prostředním poli haly. Přesný detail spoje je přiložen ve výkresové dokumentaci.

Byl posouzen čelní plech na prostý ohyb, který vzniká při přenosu tlakové síly ze stojky a styčnickový plech na otlacení od spojovacích prostředků.

Svorníky jsou namáhány jednak posouvající silou, která se rozdělí na jednotlivé spojovací prostředky stejnoměrně, a jelikož posouvající síla působí excentricky ke středu otáčení svorníkového spoje, jsou také spojovací prostředky namáhány přídavnou silou dle vztahu (7.38) od takto vyvolaného ohybového momentu dle vztahu (7.36). Výsledné zatížení  $F_{Ed}$  je dáno vektorovým součtem obou složek zatížení (viz obrázek 7.11). Byl jednak posouzen nejvíce namáhaný spojovací prostředek, který se nachází nejdál středu otáčení, a poté spoj jako celek dle pravidel uvedených v kapitole 7.1 (uvažováno, že všechny svorníky jsou zatíženy stejnou silou se stejným směrem jako nejvíce namáhaný spojovací prostředek - posudek je výrazně na stranu bezpečnou).

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = \sum_{i=1}^n F_{M,i} \cdot r_i = F_{M,1} \cdot r_1 + F_{M,1} \cdot \frac{r_2^2}{r_1} + F_{M,1} \cdot \frac{r_3^2}{r_1} + \dots + F_{M,1} \cdot \frac{r_n^2}{r_1} \quad (7.36)$$

$$\frac{F_{M,1}}{r_1} = \frac{F_{M,2}}{r_2} = \frac{F_{M,3}}{r_3} = \dots = \frac{F_{M,n}}{r_n} \quad (7.37)$$

$$F_{M,1} = \frac{|V_{Ed}| \cdot e}{\sum_{i=1}^n \frac{r_i^2}{r_1}} \quad (7.38)$$

Bylo posouzeno čepové ložisko na maximální výslednici normálové a posouvající síly v místě uložení a veškeré zmíněné nosné koutové svary dle pravidel uvedených v kapitolách 7.2 a 7.3.

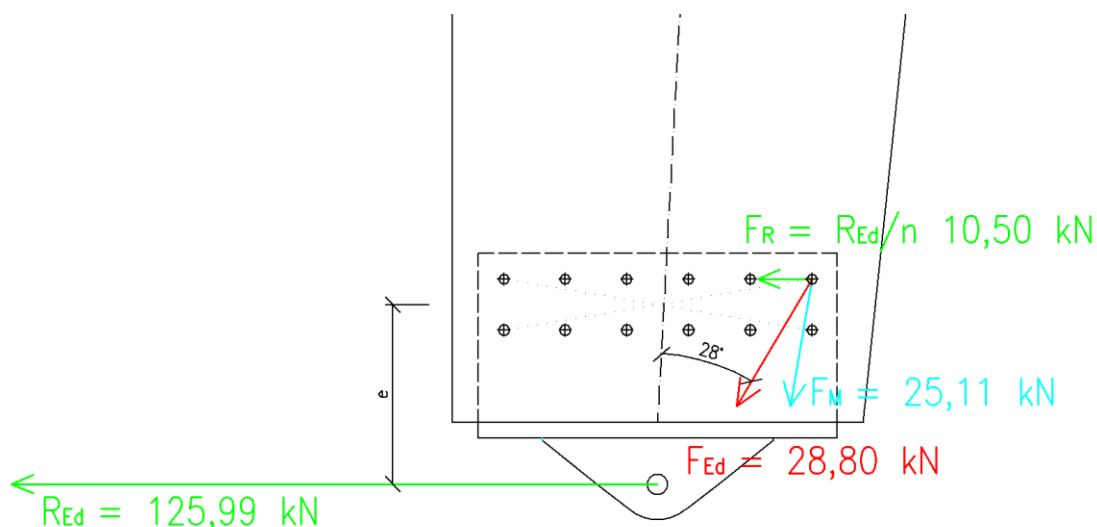
Byly posouzeny kotevní šrouby ve střihu dle vztahu (7.39), které přenášejí posouvající sílu do základové konstrukce. U tohoto posudku nebyl uvažován přenos posouvající síly třením mezi patním plechem a podlitím (posudek je na stranu bezpečnou). Byl navíc proveden posudek otláčení patního plechu a otláčení betonu patky od kotevních šroubů dle vztahu (7.40).

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot A_s \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (7.39)$$

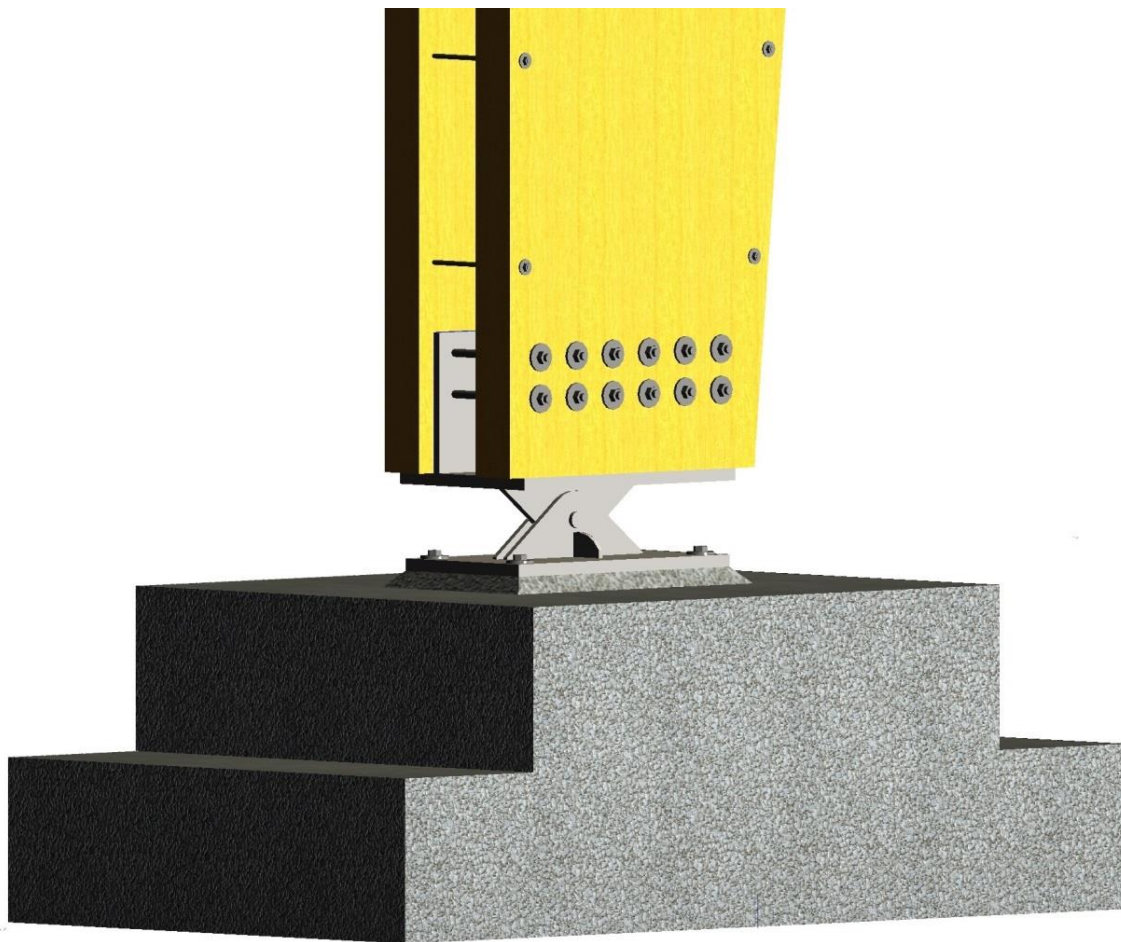
$$\sigma_d = \frac{F_{v,Ed}}{d \cdot h} \leq f_{od} \quad (7.40)$$

Pro posudky spoje a následně i železobetonové patky byly použity tyto kombinace zatížení (vždy vybrána ta horší varianta):

- Maximální posouvající síla  $V_{Ed} = -125,99 \text{ kN}$  + příslušná normálová síla  $N_{Ed} = -176,69 \text{ kN}$  – NC120 (1,15·LC1+1,15·LC2+1,5·LC5+0,9·LC12)
- Maximální normálová síla  $N_{Ed} = -183,15 \text{ kN}$  + příslušná posouvající síla  $V_{Ed} = -100,09 \text{ kN}$  – NC120 (1,15·LC1+1,15·LC2+1,5·LC5+0,9·LC12)



Obrázek 7.11 - Rozdělení sil pro posudek svorníkového spoje



Obrázek 7.12 - Patní kloub se základovou patkou (vizualizace)

### 7.4.3 Základová patka

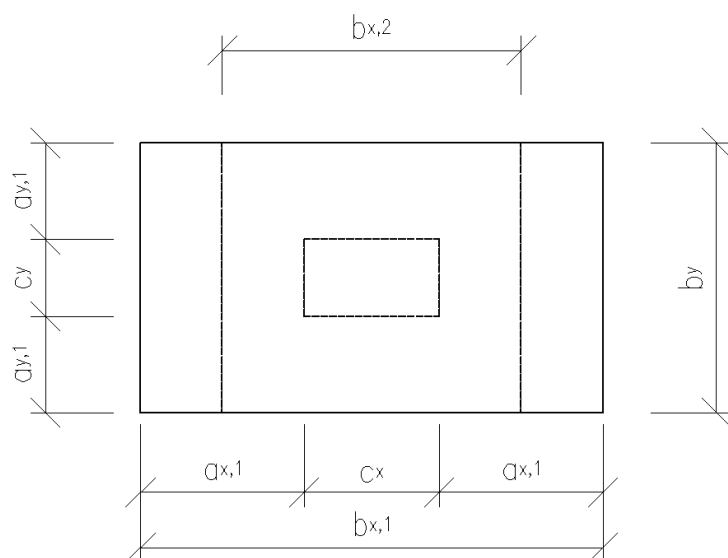
Železobetonová patka z betonu C30/37 slouží k přenesení zatížení vrchní stavby do podloží. Na základě lokality objektu byla z geologické mapy dostupné z [19] určena základová půda. Rozměry patky byly zvoleny s ohledem na působící zatížení a únosnost podloží.

Posudek kontaktního napětí byl proveden na základě vztahů:

$$\sigma_d = \frac{V_d}{A_{ef}} = \frac{V_d}{(b_{x,1} - 2 \cdot e_x) \cdot (b_y - 2 \cdot e_y)} \leq R_d \quad (7.41)$$

$$e_x = \frac{H_{d,x} \cdot e_{H_x} + M_{d,x}}{V_d} \quad (7.42)$$

$$e_y = \frac{H_{d,y} \cdot e_{H_y} + M_{d,y}}{V_d} \quad (7.43)$$



Obrázek 7.13 - Definice půdorysných rozměrů patky

Nosná tahová výztuž z betonářské oceli B420B (10 prutů o průměru 16 mm v osových vzdálenostech 135 mm) je umístěna ve směru příčné vazby haly (směr x), v podélném směru (směr y) je uvažována pouze rozdělovací výztuž (12 prutů o průměru 7 mm v osových vzdálenostech 200 mm) jako cca 20 % z hlavní tahové výztuže. Krycí vrstva výztuže je 50 mm. S ohledem na rozmístění výztuže je patka v příčném směru dvoustupňová a výrazněji protáhlá s respektováním roznášecího úhlu pro železobeton (do 45°) a v podélném směru jednostupňová, přičemž je zde uvažován roznášecí úhel pro prostý beton (cca 60°). Posudek tahové výztuže na základě vztahů (7.44) až (7.49) byl proveden pro dva průřezy, a to pro průřez u okraje patního plechu (platí návrhový ohybový moment dle vztahu (7.47)) a pro průřez na rozhraní 1. a 2. stupně patky (platí návrhový ohybový moment dle vztahu (7.48)). Výkres vyztužení patky je přiložen ve výkresové dokumentaci.

$$F_{s,x} = A_{s,x} \cdot f_{yd} = A_{s,x} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (7.44)$$

$$x_x = \frac{F_{s,x}}{0,8 \cdot b_y \cdot f_{cd}} = \frac{F_{s,x}}{0,8 \cdot b_y \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} \quad (7.45)$$

$$d_x = h_* - c_{nom} - \frac{\phi_x}{2} \quad (7.46)$$

$$M_{Ed,x} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_d \cdot b_y \cdot (a_{x,1} + 0,15 \cdot c_x)^2 \quad (7.47)$$

$$M_{Ed,x} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_d \cdot b_y \cdot \left( \frac{b_{x,1} - b_{x,2}}{2} + 0,15 \cdot b_{x,2} \right)^2 \quad (7.48)$$

$$M_{Rd,x} = F_{s,x} \cdot (d_x - 0,4 \cdot x_x) \quad (7.49)$$

Krom výše uvedeného musí být splněny konstrukční zásady pro vyztužování. Byly ověřeny minimální (vztah (7.50)) a maximální (vztah (7.51)) stupeň vyztužení pro železobetonové průřezy, limitní výška tlačeného betonu (vztah (7.52)), minimální a maximální přípustné rozteče výztuže a nakonec byla stanovena kotevní délka tahové výztuže (vztahy (7.53) až (7.57)). Kotevní délka je zřejmá z obrázku 7.14.

$$A_{s,min} = MAX \begin{cases} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_y \cdot d_x \\ 0,0013 \cdot b_y \cdot d_x \end{cases} \quad (7.50)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot h \cdot b_y \quad (7.51)$$

$$x_{lim} = \xi_{BAL} \cdot d_x = \frac{700}{700 + f_{yd}} \cdot d_x \quad (7.52)$$

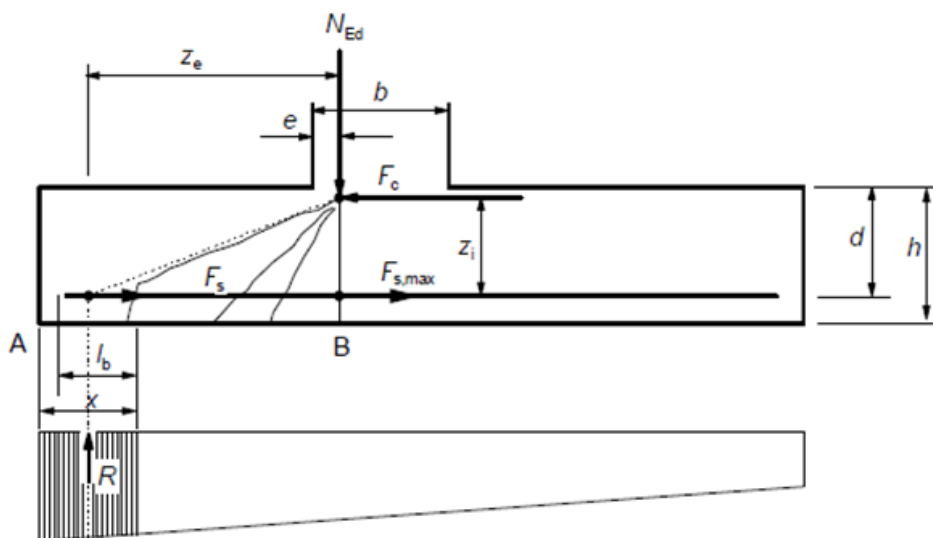
$$F_s = R \cdot \frac{z_e}{z_i} \quad (7.53)$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}(t) \quad (7.54)$$

$$l_{bd,rqd} = \frac{\phi_x}{4} \cdot \frac{\frac{F_s}{A_{s,x}}}{f_{bd}} \quad (7.55)$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{pd,rqd} \quad (7.56)$$

$$l_{bd,min} = 10 \cdot \phi_x \quad (7.57)$$



Obrázek 7.14 - Model pro stanovení síly ve výztuži s ohledem na šikmé trhliny (Zdroj: [10])

#### 7.4.4 Vrcholový kloub

Jedná se o kloubové spojení příčlí ve vrcholu příčné vazby, jež je realizováno prostřednictvím čepového ložiska. Příčel je k ložisku připevněna 4 svorníky třídy pevnosti 8.8 o průměru 20 mm pomocí vloženého styčnickového plechu z oceli S355 tloušťky 12 mm. Styčnickový plech je navařen koutovými svary k čelnímu plechu z oceli S355 tloušťky 20 mm. Čepový plech z oceli S355 tloušťky 16 mm je oproti dvojici čepových plechů z oceli S355 tloušťky 12 mm zajištěn čepem z oceli S355 o průměru 40 mm. Čepové plechy jsou k čelním plechům připevněny koutovými a tupými  $\frac{1}{2}$  V svary. Mezery mezi hranami čelních plechů a okraji příčlí jsou utěsněny silikonovou hmotou.

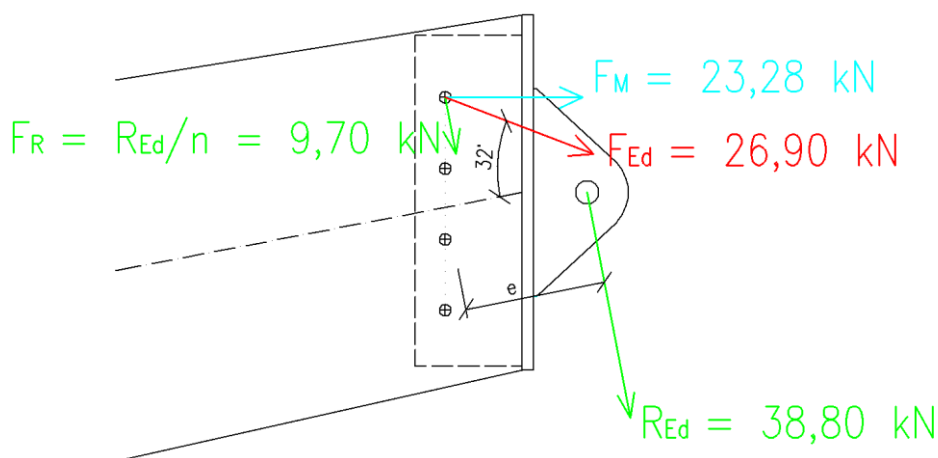
Byl posouzen čelní plech na prostý ohyb, který vzniká při přenosu tlakové síly z příčle, a styčnickový plech na otláčení od spojovacích prostředků.

Svorníky jsou namáhány posouvající silou a přídatnou silou od ohybového momentu obdobně jako v případě patního kloubu. Výsledné zatížení  $F_{Ed}$  je dáno vektorovým součtem obou složek zatížení (viz obrázek 7.15). Byl posouzen nejvíce namáhaný spojovací prostředek, který se nachází nejdál středu spoje.

Bylo posouzeno čepové ložisko na maximální výslednici normálové a posouvající síly a veškeré zmíněné nosné koutové svary (nutno rozložit normálovou a posouvající sílu do směru rovnoběžného a kolmého k ose svaru) dle pravidel uvedených v kapitolách 7.2 a 7.3.

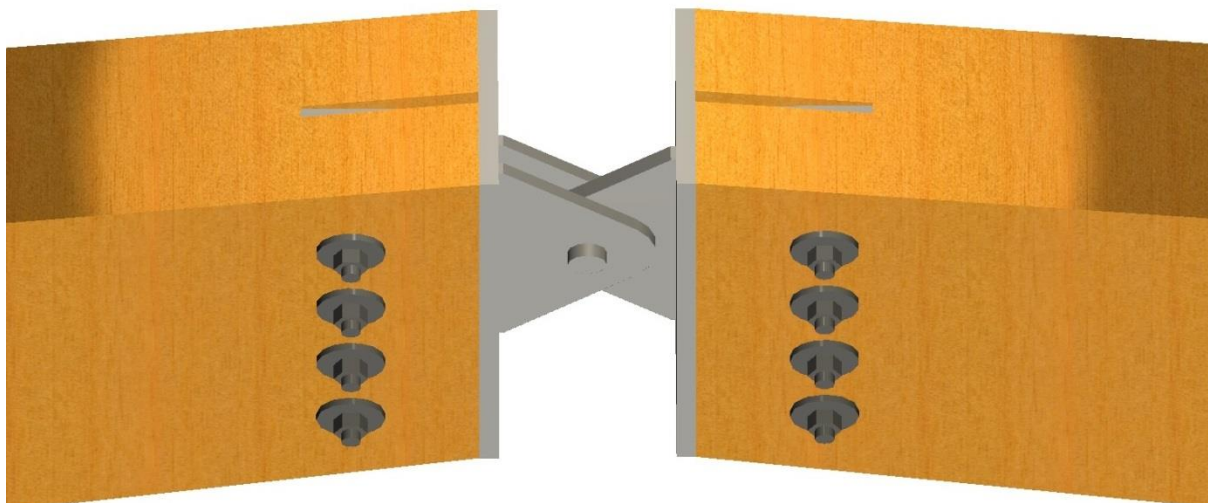
Pro posudky spoje byly použity tyto kombinace zatížení (vždy vybrána ta horší varianta):

- Maximální posouvající síla  $V_{Ed} = -38,80 \text{ kN}$  + příslušná normálová síla  $N_{Ed} = -116,18 \text{ kN} - \text{NC119} (1,15 \cdot \text{LC1} + 1,15 \cdot \text{LC2} + 1,5 \cdot \text{LC6} + 0,9 \cdot \text{LC13})$
- Maximální normálová síla  $N_{Ed} = -138,39 \text{ kN}$  + příslušná posouvající síla  $V_{Ed} = -30,39 \text{ kN} - \text{NC120} (1,15 \cdot \text{LC1} + 1,15 \cdot \text{LC2} + 1,5 \cdot \text{LC5} + 0,9 \cdot \text{LC12})$



Obrázek 7.15 - Rozdělení sil pro posudek svorníkového spoje





Obrázek 7.16 - Vrcholový kloub (vizualizace)

#### 7.4.5 Přípoj rozpěry a táhla

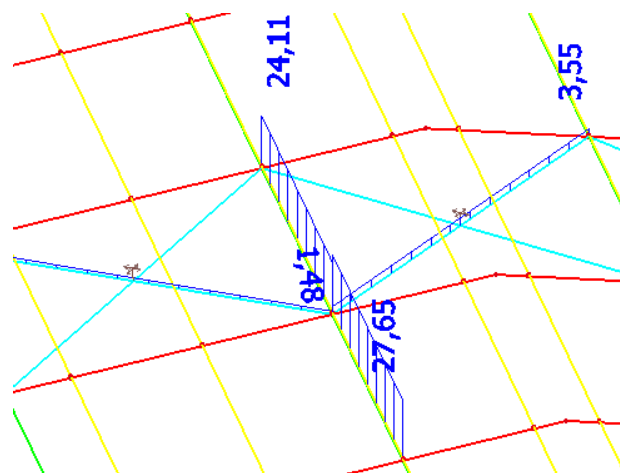
Jedná se o kloubový přípoj rozpěr a ztužidel k příčli příčné vazby. Rozpěra je připevněna ke styčnickovému plechu z oceli S355 tloušťky 10 mm pomocí 2 svorníků třídy pevnosti 8.8 o průměru 16 mm. Styčnickový plech je navařen koutovými svary na čelní plech z oceli S355 tloušťky 12 mm. Čelní plech dosedá k okraji příčle a je spolu s čelním plechem v dalším poli (z druhé strany příčle) zajištěn 4 svorníky třídy pevnost 8.8 o průměru 20. Na čelním plechu jsou navíc přivařeny koutovými svary menší styčnickové plechy k napojení ztužidel. Přesný detail spoje je přiložen ve výkresové dokumentaci.

Byl posouzen styčnickový plech na otláčení od spojovacích prostředků a na tah s uvážením oslabení otvory od normálové síly v rozpěře.

Svorníky přípoje rozpěry ke styčnickovému plechu jsou namáhány příčně od tahové síly v rozpěře. Svorníky byly posouzeny dle pravidel uvedených v kapitole 7.1.

Svorníky přípoje čelních desek k příčli byly posouzeny na tah od výslednice tahových sil v rozpěrách a ztužidlech (viz obrázek 7.17) dle vztahu (7.58).

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd} = k_2 \cdot A_s \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad (7.58)$$

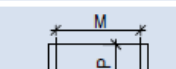
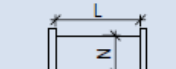
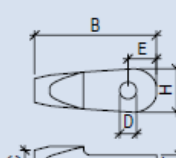
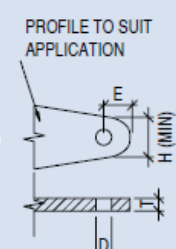
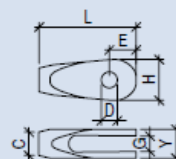


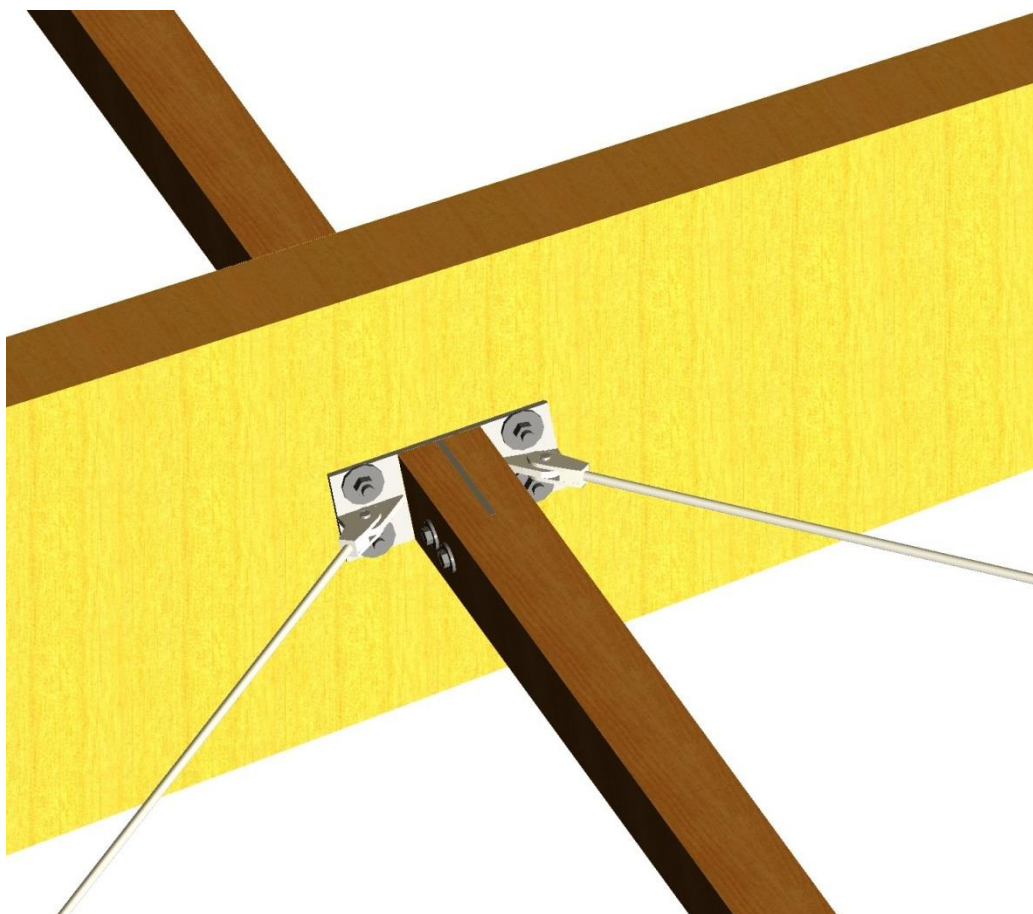
Obrázek 7.17 - Průběh tahových sil ve ztužidlovém systému (kombinace NC212)

Rozměry styčnickových plechů pro připojení ztužidel, koncovek táhel a čepů byly navrženy na základě doporučení výrobce táhel Macalloy 460 dle tabulky 7.1

Tabulka 7.1 - Rozměrové parametry systému táhel Macalloy 460 (Zdroj: [20])

Zavít	Jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Koncovka		FA10	FA12	FA16	FA20	FA24	FA30	FA36	FA42	FA48	FA56	FA64	FA76	FA85	FA90	FA100
L	mm	63	75	99	122	148	178	204	232	266	314	348	410	459	489	555
G (min)	mm	11	12	15	19	24	26	34	39	44	49	59	76	78	86	91
C Dia.	mm	17	19	25	29	35	44	52	60	69	80	91	108	121	129	143
D Dia.	mm	11,5	13	17	21,4	25,5	31,5	37,5	43,5	49,5	57,5	65,5	78,5	91,5	96,5	111,5
E	mm	18	22	29	34	42	53	61	70	81	97	111	132	153	162	188
Y	mm	20	22	28	37	44	50	64	75	87	97	115	146	154	169	174
H	mm	30	34	45	53	64	81	94	109	123	147	169	201	236	248	289
Styčnickový plech A*																
T (tloušťka mat.)	mm	10	10	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	70	80	85
D	mm	11,5	13	17	21,5	25,5	31,5	37,5	43,5	49,5	57,5	65,5	78,5	91,5	96,5	111,5
E	mm	18	22	29	34	42	53	62	71	81	97	111	132	153	162	189
H (min)	mm	30	34	45	53	63	81	95	109	123	147	169	201	236	248	289
Styčnickový plech B**																
T (tloušťka mat.)	mm	8	9	12	15	20	22	30	35	45	52					
D	mm	15,5	17	21	25,5	30	36	42	48	55,5	63,5					
E	mm	20	24	31	36	44	55	64	72	83	99					
H (min)	mm	36	40	51	57	67	85	99	113	127	151					
Koncovka																
		SA10	SA12	SA16	SA20	SA24	SA30	SA36	SA42	SA48	SA56	SA64	SA76	SA85	SA90	SA100
B	mm	78	92	118	147	174	213	249	284	321	364	408	471	524	555	625
T (min)	mm	8	9	12	15	20	22	30	35	40	45	55	70	72	80	85
C Dia.	mm	17	19	25	29	35	43	52	60	68	80	91	108	121	129	143
D Dia.	mm	11,5	13	17,5	21,5	25,5	31,5	37,5	43,5	49,5	57,5	65,5	78,5	91,5	96,5	111,5
E	mm	18	22	29	34	42	53	62	71	81	97	111	132	153	162	189
H	mm	30	34	45	53	63	81	95	109	123	147	169	201	236	248	289
Čep																
		PA10	PA12	PA16	PA20	PA24	PA30	PA36	PA42	PA48	PA56	PA64	PA76	PA85	PA90	PA100
P Dia.	mm	10,5	12	16	20	24	29	35	41	47	55	63	76	90	93	108
L	mm	22	24	30	39	46	52	66	78	91	100	120	151	155	175	180
Čep																
		PE10	PE12	PE16	PE20	PE24	PE30	PE36	PE42	PE48	PE56	PE64	PE76	PE85	PE90	PE100
P Dia.	mm	10,5	12	16	20	24	29	35	41	47	55	63	76	90	93	108
M	mm	22	24	30	39	46	52	66	78	91	100	120	151	155	175	180



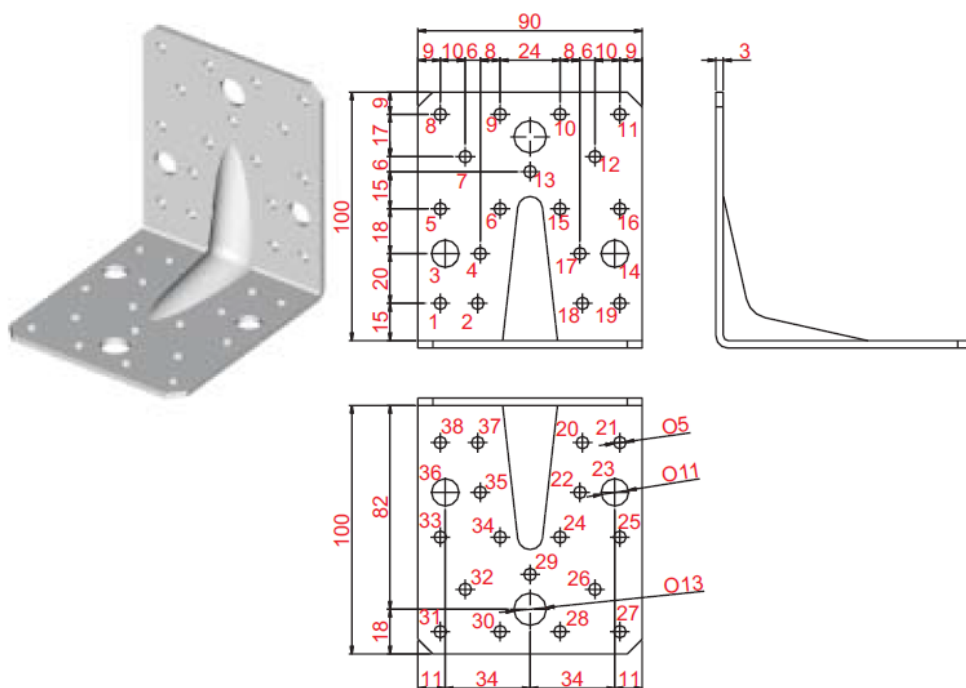


*Obrázek 7.18 - Připoj rozpěry a táhla k příčli (vizualizace)*

#### **7.4.6 Ostatní spoje**

Pro připojení vaznic k příčlím, respektive paždíků ke stojkám byly použity spojovací úhelníky s výztuhou od firmy BOVA. Návrh byl proveden dle katalogu výrobce. Geometrie navrženého úhelníku spolu s rozmístěním otvorů pro spojovací prostředky je znázorněna na obrázku 7.19. Jako spojovací prostředky jsou zde použity konvexní hřebíky BV/KH délky 70 mm o průměru 4 mm. Pro splnění únosnosti na vytažení spojovacích prostředků (vzniká při sání větru) je potřeba obsadit minimálně pozice 1, 2, 18, 19, 8, 9, 10, 11, 20, 21, 37, 38, 27, 28, 30, 31.

Jak již bylo zmíněno dříve, pro připojení sloupků štítové stěny k příčlím krajní příčné vazby musí být nutně použity spojovací úhelníky s oválnými otvory, aby se příčle mohly volně deformovat ve svislém směru a nepřetěžovaly tak štítovou stěnu. Na základě spočtené skutečné svislé deformace ve vrcholu příčné vazby, musí být navržen oválný otvor délky 100 mm.



Obrázek 7.19 - Spojovací úhelník s výztuhou (Zdroj: [21])

## 8 POŽÁRNÍ ODOLNOST

### 8.1 Chování dřeva za požáru

V zásadě rozlišujeme dvě fáze požáru: Vznikající požár a plně rozvinutý požár. Vznikající požár zahrnuje hodnocení hořlavosti materiálů, stupeň zápalnosti, rychlost šíření ohně na povrchu a míru předávání tepla. Plně rozvinutý požár představuje fázi po vzplanutí, kdy jsou všechny hořlavé materiály zachyceny ohněm. Schopnost odolávat plně rozvinutému požáru je označována jako požární odolnost (vždy přiřazena konstrukčnímu prvku) [2].

U dřeva zůstává teplota ve zbytkovém průřezu již v malé vzdálenosti od zóny hoření nezměněna. Z tohoto důvodu nevznikají v prvcích poruchy od nadměrných dilatací a nedochází výrazně ke změně fyzikálních vlastností dřeva zbytkového průřezu. Snížení únosnosti je tak především ovlivněno redukcí průřezu účinkem zuhelnatění, v menší míře potom změnou fyzikálních vlastností. Dřevo ztratí svoji únosnost teprve tehdy, až průřezová plocha zbytkového průřezu je tak malá, že napětí účinkem působícího zatížení dosáhnou pevnosti dřeva [2].

### 8.2 Navrhování na účinky požáru

Pro ověření mechanické odolnosti prvků vystavených požáru se musí návrhové hodnoty pevnostních vlastností získat dle vztahu (8.1). Modifikační součinitel pro požár  $k_{mod,fi}$  zohledňuje redukce pevnostních a tuhostních vlastností při zvýšených teplotách. Doporučený dílčí součinitel spolehlivosti dřeva při požáru je  $\gamma_{M,fi} = 1,0$ .

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (8.1)$$

20 % kvantil pevnostních vlastností se získá z charakteristických hodnot dle vztahu:

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k \quad (8.2)$$

Účinek zatížení při požáru  $E_{d,fi}$  může být zjednodušeně stanoven z účinku zatížení při navrhování na běžnou teplotu  $E_d$  dle vztahu:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (8.3)$$

Redukční součinitel zatížení  $\eta_{fi}$  se uvažuje dle vztahu:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \Psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (8.4)$$

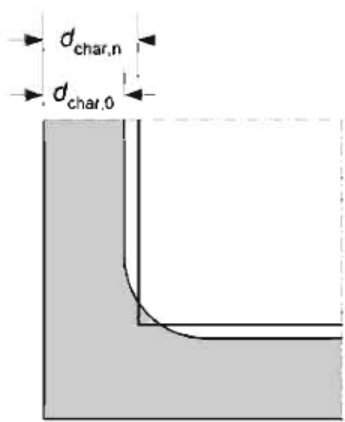
Hloubka zuhelnatění (obrázek 8.1) představuje vzdálenost mezi vnějším povrchem původního prvku a polohou čáry zuhelnatění. Určí se z doby vystavení účinkům požáru a příslušné rychlosti zuhelnatění.

Rychlost zuhelnatění pro jednorozměrné zuhelnatění se má uvažovat konstantní v čase. Návrhová hloubka zuhelnatění  $d_{char,0}$  se vypočte dle vztahu:

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t \quad (8.5)$$

Nominální hloubka zuhelnatění  $d_{char,n}$  (uvažována v této práci pro obě výpočtové metody), jejíž velikost zahrnuje účinek zaoblení rohů a trhlin, se vypočte dle vztahu:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (8.6)$$

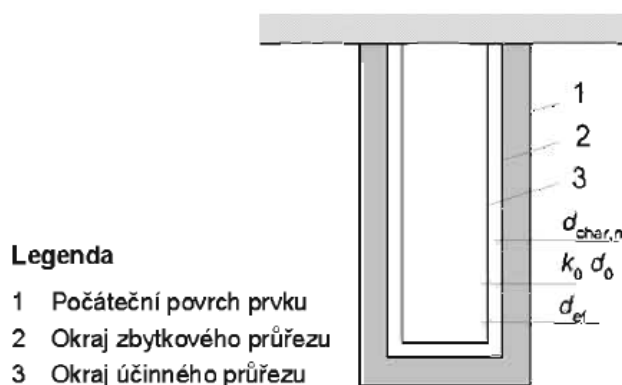


Obrázek 8.1 - Hloubka pro jednorozměrné zuhelnatění a nominální hloubka zuhelnatění (Zdroj: [15])

### 8.2.1 Metoda redukováného průřezu

Účinný průřez se má vypočítat pomocí redukce počátečního průřezu o účinnou hloubku zuhelnatění  $d_{ef}$  dle vztahu:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (8.7)$$



Obrázek 8.2 - Definice zbytkového průřezu a účinného průřezu (Zdroj: [15])

### 8.2.2 Metoda redukovaných vlastností

Zbytkový průřez se určí pomocí redukce počátečního průřezu o hloubku zuhelnatění dle vztahu (8.6).

Pro čas  $t \geq 20$  minut je modifikační součinitel pro požár  $k_{mod,fi}$  závislý na poměru obvodu zbytkového průřezu vystaveného požáru  $p$  v metrech k ploše zbytkového průřezu  $A_r$  v metrech čtverečních a má se uvažovat dle vztahů:

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r} \text{ pro pevnost v ohybu} \quad (8.8a)$$

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r} \text{ pro pevnost v tlaku} \quad (8.8b)$$

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r} \text{ pro pevnost v tahu} \quad (8.8c)$$

### 8.3 Posudek prvků

V rámci této práce u posudků dřevěných prvků byly pro možnost následného srovnání použity obě normové výpočetní metody – metoda redukovaného průřezu (MRP) a metoda redukovaných vlastností (MRV). Méně příznivě zde vychází metoda redukovaného průřezu, kdy se počítá s o něco menším průřezem a s o něco vyššími hodnotami mechanických vlastností dřeva (viz kapitola 8.2) než u metody redukovaných vlastností. Tato skutečnost je přičítána hlavně tomu, že ve většině posudků figurují stabilitní jevy (vzpěr a klopení), kde zásadnější roli hrají právě průřezové charakteristiky než mechanické vlastnosti. Posouzení jednotlivých prvků dle norem [12] a [15] je uvedeno v kapitole 10.

Dle doporučení odborníků na základě normy ČSN 73 0804, která se zabývá výpočtem požárního rizika výrobních objektů, se z požárního hlediska v praxi rozlišují 3 skupiny výrobních objektů:

1. požární ochrana 15 minut doporučena
2. požární ochrana 15 minut požadována
3. požární ochrana 30 minut požadována

Vzhledem k dostupnosti příslušné normy a komplikovanosti celé problematiky výpočtu požárního rizika u výrobních objektů je pro posudek veškerých nosných prvků uvažována požární odolnost R30 (požadavek únosnosti po dobu 30 minut).

### 8.3.1 Dřevěné prvky

Posudek požární odolnosti proveden vždy pro nejnepříznivější posudek při běžné teplotě. Rám (příčel a stojka) a rozpěra vyhovují na požární odolnost R30.

Vaznice a paždíky není potřeba posuzovat, jelikož jsou chráněny vrstvou OSB desek tloušťky 25 mm. Vzhledem k rychlosti odhořívání OSB obkladů tyto prvky na požární odolnost R30 vyhovují.

Dřevo bude mimo jiné napuštěno chemickými látkami, které snižují hořlavost dřeva a rychlost šíření ohně.

### 8.3.2 Ztužidlo

Problémem ocelových prvků při navrhování na účinky požáru je významná redukce tuhostních a pevnostních vlastností při zvýšených teplotách v důsledku vystavení požáru, a to za velmi krátkou dobu.

Aby bylo dosaženo požadované požární odolnosti R30, jsou ocelová táhla chráněna intumescentním nátěrem o tloušťce 300 µm. Ten může za zvýšené teploty po zpenění zvětšit svůj objem až padesátkrát.

Posudek prvku byl proveden dle normy [12] metodou přírůstku teploty (po 30 s). Dle vztahů (8.9) a (8.10) byla stanovena teplota konstrukčního ocelového prvku izolovaného požárně ochranným materiálem v době požadované požární odolnosti  $t = 30$  min, následně čehož mohla být určena redukovaná mez kluzu a vypočtena únosnost v tahu při požáru dle vztahu (8.12). Teplota okolního plynu je uvažována na základě nominální normové teplotní křivky dle vztahu (8.11).

$$\theta_{a,t} = \frac{\lambda_a \cdot \frac{A_p}{V} \cdot (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p \cdot c_a \cdot \rho_a} \cdot \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \cdot \Delta \theta_{g,t} \quad (8.9)$$

$$\phi = \frac{c_p \cdot \rho_p}{c_a \cdot \rho_a} \cdot d_p \cdot \frac{A_p}{V} \quad (8.10)$$

$$\theta_{g,t} = 20 + 345 \cdot \log(8t + 1) \quad (8.11)$$

$$N_{Rd,fi} = k_{y,\theta} \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \quad (8.12)$$

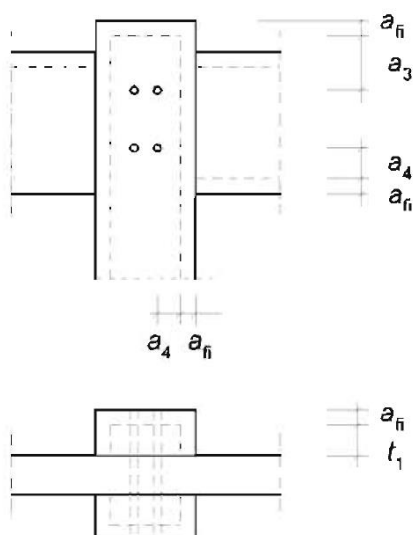


## 8.4 Posudek spojů

Podrobný posudek požární odolnosti spojů není součástí této práce, je zde uvedeno jen několik zásad, které musí být při návrhu spojů dodrženy, aby bylo dosaženo požadované požární odolnosti R30.

Požární odolnost nechráněných svorníkových spojů s bočními dřevěnými prvky, u kterých rozteče, vzdálenost od okrajů a konců a rozměry bočního prvku vyhovují minimálním požadavkům uvedených v normě [14] je vždy možno brát dobou 15 minut. Zvýšení odolnosti na požadovaných 30 minut se dosáhne zvětšením minimálních hodnot tloušťky bočních prvků, šířky bočních prvků a vzdálenosti od konce a okraje ke spojovacím prostředkům o hodnotu  $a_{fi}$  (viz obrázek 8.3) dle vztahu:

$$a_{fi} = \beta_n \cdot k_{flux} \cdot (t_{req} - t_{d,fi}) \quad (8.13)$$



Obrázek 8.3 - Zvláštní tloušťka a vzdálenosti spojovacích prostředků od konce a okraje (Zdroj: [15])

Pro spoje s vnitřními ocelovými deskami s tloušťkou rovnou nebo větší než 2 mm, a které nevystupují na povrch dřeva, je pro požární odolnost R30 navíc požadována ocelová deska šířky alespoň 120 mm.

Dále je uvažováno, že všechny vnější ocelové plechy jsou podobně jako v případě ocelových táhel chráněny intumescentním nátěrem.

## 9 ZPŮSOB MONTÁŽE

Tato kapitola nepopisuje technologický postup všech nezbytně nutných činností, které musí být při realizaci provedeny, ale pouze práce přímo související s montáží nosné konstrukce.

Nejdříve se provede úprava terénu na místě, kde má být objekt vystaven. Před samotným zahájením zemních prací se odstraní přebytečný porost (vyšší keře, stromy atd.), poté se pokračuje sejmutím ornice a zarovnáním povrchu terénu. Následuje výkop stavebních jam pro základové konstrukce. Do výkopů pro železobetonové patky se usadí betonářská výztuž a do bednění vybetonují patky. Po počáteční fázi tuhnutí betonu se vyvrtají díry pro kotevní šrouby, ty se spolu s patními a spodními čepovými plechy osadí (osazení na podložky). Před další montáží se nechají základové konstrukce dostatečně vyzrát.

Na stavbu budou prvky nosné konstrukce přivezeny jednotlivě s předem vyvrtanými otvory pro spojovací prostředky rámového rohu a s osazenými svařenci styčnickových, čelních a čepových plechů spolu s jejich zajištěním svorníky. V pozici naležato se poté vzájemně smontují příčel a stojka (rámový roh). Vzniklé polorámy se za pomoci autojeřábů vzpřímí a zajistí čepy v uložení a ve vrcholu. Totéž je provedeno se sousední příčnou vazbou. Vzájemná poloha obou sousedních příčných vazeb se potom zajistí montáží rozpěr a ztužidel, čímž je docíleno stabilizace takto vzniklé konstrukce. Pokračuje se montáží příčných vazeb a ztužujících prvků dalších polí konstrukce, až je dosaženo druhého konce haly. K montáží rozpěr a ztužidel musí být použito posuvného podpůrného lešení. Po geometrické kontrole konstrukce se provede injektáž kotevních šroubů zálivkovou maltou a podlití patního plechu.

V poslední fázi se za pomoci autojeřábu usadí a připevní shora na příčle rámu vaznice a na stojky paždíky. Zároveň se provede montáž prvků štítových stěn. Když je nosná konstrukce hotová, může se přistoupit k montáži střešního pláště, obvodového pláště a dalších nenosných konstrukcí...

## 10 STATICKÝ VÝPOČET

### 10.1 Varianta A

#### 10.1.1 Výpočet zatížení

##### Stálé zatížení

Skladba střešního pláště

	$G_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$t$ [mm]	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_k$ [kN/m]	$g_{k,vrch}$ [kN/m]	$g_{k,okap}$ [kN/m]
Plech titanžinek 0,7 - SATJAM Grande			0,048	0,097	0,063	0,073
Separční folie - Izoltech P 200			0,002	0,004	0,003	0,003
Asfaltový pás - Glastek 400			0,002	0,004	0,003	0,003
OSB desky 25	5,5	25	0,138	0,279	0,181	0,209
Latování				0,050	0,050	0,050
Paropropustná fólie Jutadach 135			0,002	0,004	0,003	0,003
Stříkaná izolace FROTH-PAK	0,3	200	0,060	0,122	0,079	0,091
Parozábrana JutaFOL N 170			0,002	0,004	0,003	0,003
OSB desky 25	5,5	25	0,138	0,279	0,181	0,209
			<b>0,391</b>	<b>0,842</b>	<b>0,565</b>	<b>0,644</b>

Skladba stěnového pláště

	$G_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$t$ [mm]	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_k$ [kN/m]	$g_{k,okap}$ [kN/m]
Palubky	5,0	19	0,095	0,190	0,095
Latování				0,020	0,020
OSB desky 25	5,5	25	0,138	0,275	0,138
Latování				0,050	0,050
Paropropustná fólie Jutadach 135			0,002	0,004	0,002
Stříkaná izolace FROTH-PAK	0,3	200	0,060	0,120	0,060
Parozábrana JutaFOL N 170			0,002	0,004	0,002
OSB desky 25	5,5	25	0,138	0,275	0,138
			<b>0,434</b>	<b>0,938</b>	<b>0,504</b>

Ostatní stálé zatížení

	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_{k,rám}$ [kN/m]
Vzduchotechnika	0,10	0,5
Elektroinstalace	0,05	0,25
Osvětlení	0,10	0,5
Spojovací prostředky		0,1
		<b>1,35</b>

## Užitné zatížení

	<b>H</b>
<b><math>q_k</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	0,75

kategorie střechy

charakteristická hodnota užitého zatížení

<b><math>q_k</math> [kN/m]</b>	1,50
<b><math>q_{k,okap}</math> [kN/m]</b>	0,98
<b><math>q_{k,vrch}</math> [kN/m]</b>	1,13

délkové zatížení na mezilehlou vaznici

délkové zatížení na okapovou vaznici

délkové zatížení na vrcholovou vaznici

## Zatížení sněhem

<b><math>s_k</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	1,03
<b><math>C_e</math> [-]</b>	1,00
<b><math>C_t</math> [-]</b>	1,00
<b><math>\mu_1</math> [-]</b>	0,80
<b><math>s_{k,1}</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	0,82
<b><math>s_{k,2}</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	0,41

charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

součinitel expozice

tepelný součinitel

tvárový součinitel

charakteristická hodnota zatížení pro uspořádání navenáým sněhem

charakteristická hodnota zatížení pro uspořádání navenáým sněhem (menší hod.)

<b><math>s_{k,1}</math> [kN/m]</b>	1,65
<b><math>s_{k,1,okap}</math> [kN/m]</b>	1,07
<b><math>s_{k,1,vrch}</math> [kN/m]</b>	1,24
<b><math>s_{k,2}</math> [kN/m]</b>	0,82
<b><math>s_{k,2,okap}</math> [kN/m]</b>	0,54
<b><math>s_{k,2,vrch}</math> [kN/m]</b>	0,62

délkové zatížení na mezilehlou vaznici

délkové zatížení na okapovou vaznici

délkové zatížení na vrcholovou vaznici

délkové zatížení na mezilehlou vaznici

délkové zatížení na okapovou vaznici

délkové zatížení na vrcholovou vaznici

## Zatížení větrem

### Základní hodnoty

<b><math>v_{b,0}</math> [m/s]</b>	25,00
<b><math>c_{dir}</math> [-]</b>	1,00
<b><math>c_{season}</math> [-]</b>	1,00
<b><math>v_b</math> [m/s]</b>	25,00

výchozí základní rychlost větru

součinitel směru větru

součinitel ročního období

základní rychlost větru

### Střední rychlost větru

<b><math>h</math> [m]</b>	8,50
<b><math>z_e</math> [m]</b>	8,50
<b><math>z_i</math> [m]</b>	8,50
<b><math>z_0</math> [m]</b>	0,05
<b><math>z_{0,II}</math> [m]</b>	0,05
<b><math>z_{min}</math> [m]</b>	2,00
<b><math>z</math> [m]</b>	8,50
<b><math>k_r</math> [-]</b>	0,19
<b><math>c_r(z)</math> [-]</b>	0,98
<b><math>c_o(z)</math> [-]</b>	1,00
<b><math>v_m(z)</math> [m/s]</b>	24,40

celková výška objektu

referenční výška pro vnější tlak

referenční výška pro vnitřní tlak

parametr drsnosti terénu

parametr drsnosti terénu pro kategorii II

minimální výška

výška pro výpočet

součinitel terénu

součinitel drsnosti terénu

součinitel ortografie

charakteristická střední rychlost větru

### Turbulence větru a maximální dynamický tlak

$k_1$ [-]	1,00	součinitel turbulence
$I_z$ [-]	0,19	intenzita turbulence
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,25	hustota vzduchu
$q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,88	charakteristický maximální dynamický tlak

### a) Sedlové střechy

#### Součinitelé vnějšího tlaku - příčný vítr

$h$ [m]	8,5	celková výška objektu
$b$ [m]	66,00	rozměr kolmý na směr proudění
$d$ [m]	25,60	rozměr rovnoběžný se směrem proudění
$e$ [m]	17	rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení
$e/10$ [m]	1,7	
$e/4$ [m]	4,25	
	<b>POUŽIJ <math>C_{pe,10}</math></b>	volba součinitelů vnějších tlaků
$C_{pe}^F$ [-]	-1,37	hodnota součinitele tlaku pro oblast F
$C_{pe}^G$ [-]	-1,04	hodnota součinitele tlaku pro oblast G
$C_{pe}^H$ [-]	-0,48	hodnota součinitele tlaku pro oblast H
$C_{pe}^I$ [-]	-0,52	hodnota součinitele tlaku pro oblast I
$C_{pe}^J$ [-]	-0,29	hodnota součinitele tlaku pro oblast J
$C_{pe}^{F+}$ [-]	0,08	hodnota součinitele tlaku pro oblast F
$C_{pe}^{G+}$ [-]	0,08	hodnota součinitele tlaku pro oblast G
$C_{pe}^{H+}$ [-]	0,08	hodnota součinitele tlaku pro oblast H
$C_{pe}^{I+}$ [-]	-0,35	hodnota součinitele tlaku pro oblast I
$C_{pe}^{J+}$ [-]	-0,35	hodnota součinitele tlaku pro oblast J

#### Součinitelé vnějšího tlaku - podélný vítr

$h$ [m]	8,5	celková výška objektu
$b$ [m]	25,60	rozměr kolmý na směr proudění
$d$ [m]	66,00	rozměr rovnoběžný se směrem proudění
$e$ [m]	17	rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení
$e/10$ [m]	1,7	
$e/4$ [m]	4,25	
$e/2$ [m]	8,5	
	<b>POUŽIJ <math>C_{pe,10}</math></b>	volba součinitelů vnějších tlaků
$C_{pe}^F$ [-]	-1,48	hodnota součinitele tlaku pro oblast F
$C_{pe}^G$ [-]	-1,3	hodnota součinitele tlaku pro oblast G
$C_{pe}^H$ [-]	-0,66	hodnota součinitele tlaku pro oblast H
$C_{pe}^I$ [-]	-0,56	hodnota součinitele tlaku pro oblast I

**Součinitelé vnitřního tlaku**

$C_{pi}^+$ [-]	0,2
$C_{pi}^-$ [-]	-0,3

hodnota součinitele tlaku (přetlak)

hodnota součinitele tlaku (podtlak)

**Výsledné tlaky - příčný vítr  $C_{pi}^+ = +0,2$** 

$w_{-k}^{F-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,38
$w_{-k}^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,09
$w_{-k}^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,60
$w_{-k}^{I-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,63
$w_{-k}^{J-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,43
$w_{+k}^{F+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,11
$w_{+k}^{G+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,11
$w_{+k}^{H+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,11
$w_{+k}^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,48
$w_{+k}^{J+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,48

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast J

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast J

**Výsledné tlaky - příčný vítr  $C_{pi}^- = -0,3$** 

$w_{-k}^{F-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,94
$w_{-k}^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,65
$w_{-k}^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,16
$w_{-k}^{I-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,19
$w_{-k}^{J-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,01
$w_{+k}^{F+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,33
$w_{+k}^{G+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,33
$w_{+k}^{H+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,33
$w_{+k}^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,04
$w_{+k}^{J+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,04

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast J

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast J

**Výsledné tlaky - podélný vítr  $C_{pi}^+ = +0,2$** 

$w_{-k}^{F-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,48
$w_{-k}^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,32
$w_{-k}^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,76
$w_{-k}^{I-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,67

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

**Výsledné tlaky - podélný vítr  $C_{pi}^- = -0,3$** 

$w_{-k}^{F-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,04
$w_{-k}^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,88
$w_{-k}^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,32
$w_{-k}^{I-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,23

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

## NÁSLEDUJÍCÍ HODNOTY PLATÍ PRO MEZILEHLOU VAZNICI

### Zatěžovací stavy - příčný vítr $C_{pi}^+ = +0,2$

F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]	J [kN/m]	
-0,21	-0,21	-0,21	-0,98	-0,98	ZS + + + + +
-0,21	-0,21	-0,21	-1,28	-0,87	ZS + + + - -
-2,79	-2,21	-1,21	-0,98	-0,98	ZS - - - + +
-2,79	-2,21	-1,21	-1,28	-0,87	ZS - - - - -

### Zatěžovací stavy - příčný vítr $C_{pi}^- = -0,3$

F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]	J [kN/m]	
0,68	0,68	0,68	-0,09	-0,09	ZS + + + + +
0,68	0,68	0,68	-0,39	0,02	ZS + + + - -
-1,90	-1,32	-0,32	-0,09	-0,09	ZS - - - + +
-1,90	-1,32	-0,32	-0,39	0,02	ZS - - - - -

### Zatěžovací stavy - podélný vítr $C_{pi}^+ = +0,2$

F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
-2,99	-2,67	-1,53	-1,35

### Zatěžovací stavy - podélný vítr $C_{pi}^- = -0,3$

F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
-2,10	-1,78	-0,64	-0,46

## b) Svislé stěny

### Součinitelé vnějšího tlaku - příčný vítr

h [m]	8,50	výška stěny rovnoběžné se směrem proudění
b [m]	66,00	rozměr kolmý na směr proudění
d [m]	25,60	rozměr rovnoběžný se směrem proudění
e [m]	17,00	rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení
e/5 [m]	3,40	
4/5 e [m]	13,60	
d-e [m]	8,60	
h/d [-]	0,33	
$C_{pe}^{A-}$ [-]	-1,20	hodnota součinitele tlaku pro oblast A
$C_{pe}^{B-}$ [-]	-0,80	hodnota součinitele tlaku pro oblast B
$C_{pe}^{C-}$ [-]	-0,50	hodnota součinitele tlaku pro oblast C
$C_{pe}^{D+}$ [-]	0,71	hodnota součinitele tlaku pro oblast D
$C_{pe}^{E-}$ [-]	-0,32	hodnota součinitele tlaku pro oblast E

### Součinitelé vnějšího tlaku - podélný vítr

$h$ [m]	6,50
$b$ [m]	25,60
$d$ [m]	66,00
$e$ [m]	13,00
$e/5$ [m]	2,60
$4/5 e$ [m]	10,40
$d-e$ [m]	53,00
$h/d$ [-]	0,10
$C_{pe}^{A-}$ [-]	-1,20
$C_{pe}^{B-}$ [-]	-0,80
$C_{pe}^{C-}$ [-]	-0,50
$C_{pe}^{D+}$ [-]	0,70
$C_{pe}^{E-}$ [-]	-0,30

výška stěny rovnoběžné se směrem proudění  
 rozměr kolmý na směr proudění  
 rozměr rovnoběžný se směrem proudění  
 rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení

hodnota součinitele tlaku pro oblast A  
 hodnota součinitele tlaku pro oblast B  
 hodnota součinitele tlaku pro oblast C  
 hodnota součinitele tlaku pro oblast D  
 hodnota součinitele tlaku pro oblast E

### Součinitelé vnitřního tlaku

$C_{pi}^{+}$ [-]	0,20
$C_{pi}^{-}$ [-]	-0,30

hodnota součinitele tlaku (přetlak)  
 hodnota součinitele tlaku (podtlak)

### Výsledné tlaky - příčný vítr $C_{pi}^{+} = +0,2$

$w_{k}^{A-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,23
$w_{k}^{B-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,88
$w_{k}^{C-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,62
$w_{k}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,45
$w_{k}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,46

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

### Výsledné tlaky - příčný vítr $C_{pi}^{-} = -0,3$

$w_{k}^{A-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,79
$w_{k}^{B-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,44
$w_{k}^{C-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,18
$w_{k}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,89
$w_{k}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,02

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

### Výsledné tlaky - podélný vítr $C_{pi}^{+} = +0,2$

$w_{k}^{A-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,23
$w_{k}^{B-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,88
$w_{k}^{C-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,62
$w_{k}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,44
$w_{k}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,44

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D  
 charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E



### Výsledné tlaky - podélný vítr $C_{pi} = -0,3$

$w_{-k}^A$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,79
$w_{-k}^B$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,44
$w_{-k}^C$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,18
$w_{-k}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,88
$w_{-k}^E$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A  
charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B  
charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C  
charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D  
charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

## 10.1.2 Posudek prvků

### Rám

#### Geometrie konstrukce

$L$ [m]	24,2
$h_{R,1}$ [mm]	1380
$h_{R,2}$ [mm]	600
$b_R$ [mm]	200
$h_{C,1}$ [mm]	1380
$h_{C,2}$ [mm]	800
$b_C$ [mm]	240
$s$ [mm]	12254
$h$ [mm]	5760

rozpětí  
výška průřezu příčle v místě rámového rohu  
výška průřezu příčle v místě kloubu  
šířka průřezu příčle  
výška průřezu stojky v místě rámového rohu  
výška průřezu stojky v místě uložení  
šířka průřezu stojky  
délka příčle  
výška stojky

#### Tuhost poddajného spoje v MSÚ

$r_1$ [mm]	550
$r_2$ [mm]	450
$n_1$ [-]	34
$n_2$ [-]	28
$K_u$ [N/mm]	6288
$K_{t,u}$ [N/mm]	779699
$K_{r,u}$ [Nmm/rad]	2,00647E+11

poloměr vnějšího kruhu  
poloměr vnitřního kruhu  
počet spojovacích prostředků vnějšího kruhu  
počet spojovacích prostředků vnitřního kruhu  
modul prokluzu 1 stříhu 1 spojovacího prostředku v MSÚ  
translační tuhost poddajného dvojstřížného spoje v MSÚ  
rotační tuhost poddajného dvojstřížného spoje v MSÚ

#### Určení vzpěrných délek

$E_{0,05}$ [MPa]	420
$I_0$ [mm <sup>4</sup> ]	22609534050
$I$ [mm <sup>4</sup> ]	65221289320
$N_0$ [kN]	-144,51
$N$ [kN]	-158,48
$l_{ef,R}$ [mm]	17353
$l_{ef,C}$ [mm]	28145

5% kvantil modulu pružnosti v tahu a tlaku  
moment setrvačnosti příčle  
moment setrvačnosti stojky  
osová síla v příčli  
osová síla ve stojce  
vzpěrná délka příčle  
vzpěrná délka stojky

## a) Příčel

### Posudek na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku

b [mm]	200
h [mm]	1380
A [mm <sup>2</sup> ]	276000
W <sub>y</sub> [mm <sup>3</sup> ]	63480000
W <sub>z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	9200000
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	43801200000
I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	920000000
i <sub>y</sub> [mm]	398,37
i <sub>z</sub> [mm]	57,74

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

N <sub>Ed</sub> [kN]	-144,51
M <sub>Ed,y</sub> [kNm]	-688,3
σ <sub>c,0,d</sub> [MPa]	0,52
σ <sub>m,y,d</sub> [MPa]	10,84
L <sub>cr,y</sub> [mm]	17353
L <sub>cr,z</sub> [mm]	5064
λ <sub>y</sub> [-]	43,56
λ <sub>z</sub> [-]	87,71
σ <sub>c,crit,y</sub> [MPa]	53,05
σ <sub>c,crit,z</sub> [MPa]	13,09
λ <sub>rel,y</sub> [-]	0,71
λ <sub>rel,z</sub> [-]	1,42
β [-]	0,1
k <sub>y</sub> [-]	0,77
k <sub>c,y</sub> [-]	0,93
k <sub>z</sub> [-]	1,57
k <sub>c,z</sub> [-]	0,45
L <sub>ef</sub> [mm]	5064
σ <sub>m,crit</sub> [MPa]	45,54
λ <sub>rel,m</sub> [-]	0,78
k <sub>crit</sub> [-]	0,97
$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$	58,29%
	<b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$	36,74%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu y

vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu z

štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y

štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z

ktitické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability

ktitické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability

poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y

poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z

součinitel imperfekce

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

účinná délka při klopení

ktitické napětí v ohybu při kterém dojde ke ztrátě stability

poměrná štíhlost v ohybu

součinitel klopení

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci klopení a vzpěrného tlaku

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci klopení a vzpěrného tlaku

### Posudek na smyk

b [mm]	200
h [mm]	1380
$k_{cr}$ [-]	0,67
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	184920

horizontální rozměr  
vertikální rozměr  
součinitel vlivu trhlin  
plocha průřezu

$V_{Ed}$ [kN]	-119,13
$\tau_d$ [MPa]	0,97
$\tau_d \leq f_{v,d}$	41,94%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota posouvající síly  
návrhové smykové napětí od posouvající síly  
využití průřezu  
posudek - podmínka na smykovou únosnost

### Posudek MSP

$u_{inst,G}$ [mm]	35,2
$u_{inst,Q,1}$ [mm]	32,2
$u_{inst,Q,i}$ [mm]	3,1
$u_c$ [mm]	0,0
$u_{inst}$ [mm]	70,5
$L/300$ [mm]	81,3
	<b>VYHOVUJE</b>
$\Psi_{2,1}$ [-]	0
$\Psi_{0,i}$ [-]	0,6
$\Psi_{2,i}$ [-]	0
$u_{fin,G}$ [mm]	63,4
$u_{fin,Q,1}$ [mm]	32,2
$u_{fin,Q,i}$ [mm]	1,9
$u_{net,fin}$ [mm]	97,4
$L/250$ [mm]	97,6
	<b>VYHOVUJE</b>

okamžitý průhyb od stálého zatížení  
okamžitý průhyb od hlavního proměnného zatížení  
okamžitý průhyb od dalšího proměnného zatížení  
výrobní nadvýšení nosníku  
celkový okamžitý průhyb  
limitní hodnota okamžitého průhybu  
posudek - podmínka na okamžitý průhyb  
součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení  
součinitel pro kombinační hodnotu proměnných zatížení  
součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení  
konečný průhyb od stálého zatížení  
konečný průhyb od hlavního proměnného zatížení  
konečný průhyb od dalšího proměnného zatížení  
celkový konečný čistý průhyb  
limitní hodnota konečného čistého průhybu  
posudek - podmínka na konečný průhyb

## b) Stojka

### Posudek na smyk

b [mm]	240
h [mm]	800
$k_{cr}$ [-]	0,67
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	128640

horizontální rozměr  
vertikální rozměr  
součinitel vlivu trhlin  
plocha průřezu

$V_{Ed}$ [kN]	-125,99
$\tau_d$ [MPa]	1,47
$\tau_d \leq f_{v,d}$	63,76%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota posouvající síly  
návrhové smykové napětí od posouvající síly  
využití průřezu  
posudek - podmínka na smykovou únosnost

### Posudek na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku

<b>b [mm]</b>	240
<b>h [mm]</b>	1380
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	331200
<b>W<sub>y</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	76176000
<b>W<sub>z</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	13248000
<b>I<sub>y</sub> [mm<sup>4</sup>]</b>	52561440000
<b>I<sub>z</sub> [mm<sup>4</sup>]</b>	1589760000
<b>i<sub>y</sub> [mm]</b>	398,37
<b>i<sub>z</sub> [mm]</b>	69,28

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-158,48
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	-688,3
<b>σ<sub>c,0,d</sub> [MPa]</b>	0,48
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	9,04
<b>L<sub>cr,y</sub> [mm]</b>	28145
<b>L<sub>cr,z</sub> [mm]</b>	5760
<b>λ<sub>y</sub> [-]</b>	70,65
<b>λ<sub>z</sub> [-]</b>	83,14
<b>σ<sub>c,crit,y</sub> [MPa]</b>	20,17
<b>σ<sub>c,crit,z</sub> [MPa]</b>	14,56
<b>λ<sub>rel,y</sub> [-]</b>	1,15
<b>λ<sub>rel,z</sub> [-]</b>	1,35
<b>β [-]</b>	0,1
<b>k<sub>y</sub> [-]</b>	1,20
<b>k<sub>c,y</sub> [-]</b>	0,64
<b>k<sub>z</sub> [-]</b>	1,46
<b>k<sub>c,z</sub> [-]</b>	0,49
<b>L<sub>ef</sub> [mm]</b>	5760
<b>σ<sub>m,crit</sub> [MPa]</b>	57,65
<b>λ<sub>rel,m</sub> [-]</b>	0,70
<b>k<sub>crit</sub> [-]</b>	1,00
$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$	48,71% <b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$	25,17% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu y

vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu z

štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y

štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z

kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability

kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability

poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y

poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z

součinitel imperfekce

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

účinná délka při klopení

kritické napětí v ohybu při kterém dojde ke ztrátě stability

poměrná štíhlost v ohybu

součinitel klopení

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci klopení a vzpěrného tlaku

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci klopení a vzpěrného tlaku

## Rozpěra

### Posudek na vzpěrný tlak

<b>b [mm]</b>	140
<b>h [mm]</b>	160
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	22400
<b>W<sub>y</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	597333
<b>W<sub>z</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	522667
<b>I<sub>y</sub> [mm<sup>4</sup>]</b>	47786667
<b>I<sub>z</sub> [mm<sup>4</sup>]</b>	36586667
<b>i<sub>y</sub> [mm]</b>	46,19
<b>i<sub>z</sub> [mm]</b>	40,41

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-36,48
<b>σ<sub>c,0,d</sub> [MPa]</b>	1,63
<b>L<sub>cr,y</sub> [mm]</b>	5000
<b>L<sub>cr,z</sub> [mm]</b>	5000
<b>λ<sub>y</sub> [-]</b>	108,25
<b>λ<sub>z</sub> [-]</b>	123,72
<b>σ<sub>c,crit,y</sub> [MPa]</b>	7,92
<b>σ<sub>c,crit,z</sub> [MPa]</b>	6,06
<b>λ<sub>rel,y</sub> [-]</b>	1,74
<b>λ<sub>rel,z</sub> [-]</b>	1,99
<b>β [-]</b>	0,1
<b>k<sub>y</sub> [-]</b>	2,09
<b>k<sub>c,y</sub> [-]</b>	0,31
<b>k<sub>z</sub> [-]</b>	2,56
<b>k<sub>c,z</sub> [-]</b>	0,24
<b>σ<sub>c,0,d</sub> ≤ k<sub>c,y</sub> · f<sub>c,0,d</sub></b>	30,54%
	<b>VYHOVUJE</b>
<b>σ<sub>c,0,d</sub> ≤ k<sub>c,z</sub> · f<sub>c,0,d</sub></b>	39,41%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu y

vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu z

štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y

štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z

kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability

kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability

poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y

poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z

součinitel imperfekce

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

### Posudek na tah rovnoběžně s vlákny

<b>b [mm]</b>	140
<b>h [mm]</b>	160
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	22400

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	27,65
<b>σ<sub>t,0,d</sub> [MPa]</b>	1,23
<b>σ<sub>t,0,d</sub> ≤ f<sub>t,0,d</sub></b>	10,39%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tahové síly

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

využití průřezu

posudek - podmínka na tah rovnoběžně s vlákny

## Ztužidlo

### Návrh táhla

	<b>RD15</b>
	<b>S460</b>
$f_y$ [MPa]	460
$f_u$ [MPa]	610
$\gamma_{M0}$ [-]	1
$\gamma_{M1}$ [-]	1
$E$ [MPa]	210000
$G$ [MPa]	81000
$g$ [kg/m]	1,39
$d$ [mm]	15
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	176,7
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	2485
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	2485
$i_y$ [mm]	3,75
$i_z$ [mm]	3,75

profil  
 konstrukční ocel  
 mez kluzu  
 mez pevnosti  
 dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost  
 dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost  
 modul pružnosti v tahu a tlaku  
 modul pružnosti ve smyku  
 hmotnost nosníku  
 průměr  
 plocha průřezu  
 moment setrvačnosti k ose y  
 moment setrvačnosti k ose z  
 poloměr setrvačnosti k ose y  
 poloměr setrvačnosti k ose z

### Posudek na tah

$N_{Ed}$ [kN]	35,35
$N_{Rd}$ [kN]	81,29
$N_{Ed} / N_{Rd}$	43,49%
$N_{Rd} \geq N_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tahové síly  
 únosnost v tahu  
 využití průřezu  
 posudek - podmínka na tahovou únosnost

## Vaznice

### Posudek na smyk

$b$ [mm]	120
$h$ [mm]	240
$k_{cr}$ [-]	0,67
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	19296

horizontální rozměr  
 vertikální rozměr  
 součinitel vlivu trhlin  
 plocha průřezu

$V_{Ed}$ [kN]	-13,26
$\tau_d$ [MPa]	1,03
$\tau_d \leq f_{v,d}$	53,02% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota posouvající síly  
 návrhové smykové napětí od posouvající síly  
 využití průřezu  
 posudek - podmínka na smykovou únosnost

### Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

<b>b [mm]</b>	120
<b>h [mm]</b>	240
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	28800
<b>W<sub>y</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	1152000
<b>W<sub>z</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	576000
<b>k<sub>m</sub> [-]</b>	0,7

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

součinitel dvojosého ohybu (pro obdelníkový průřez roven 0,7)

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-17,03
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	-14,77
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	1,87
<b>σ<sub>c,0,d</sub> [MPa]</b>	0,59
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	12,82
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	3,25
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	87,47% <b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	70,84% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

### Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-22,15
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	-12,33
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	-1,97
<b>σ<sub>c,0,d</sub> [MPa]</b>	0,77
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	10,70
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	3,42
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	75,99% <b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	63,35% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

### Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-26,11
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	8,2
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	-1,06
<b>σ<sub>c,0,d</sub> [MPa]</b>	0,91
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	7,12
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	1,84
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	48,92% <b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	39,76% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

### Posudek MSP

$u_{inst,G}$ [mm]	3,5
$u_{inst,Q,1}$ [mm]	5,9
$u_{inst,Q,i}$ [mm]	3,5
$u_c$ [mm]	0,0
$u_{inst}$ [mm]	12,9
$L/300$ [mm]	16,7
	<b>VYHOVUJE</b>
$\Psi_{2,1}$ [-]	0
$\Psi_{0,i}$ [-]	0,6
$\Psi_{2,i}$ [-]	0
$u_{fin,G}$ [mm]	6,3
$u_{fin,Q,1}$ [mm]	5,9
$u_{fin,Q,i}$ [mm]	2,1
$u_{net,fin}$ [mm]	14,3
$L/250$ [mm]	20,0
	<b>VYHOVUJE</b>

okamžitý průhyb od stálého zatížení  
 okamžitý průhyb od hlavního proměnného zatížení  
 okamžitý průhyb od dalšího proměnného zatížení  
 výrobní nadvýšení nosníku  
 celkový okamžitý průhyb  
 limitní hodnota okamžitého průhybu  
 posudek - podmínka na okamžitý průhyb  
 součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení  
 součinitel pro kombinační hodnotu proměnných zatížení  
 součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení  
 konečný průhyb od stálého zatížení  
 konečný průhyb od hlavního proměnného zatížení  
 konečný průhyb od dalšího proměnného zatížení  
 celkový konečný čistý průhyb  
 limitní hodnota konečného čistého průhybu  
 posudek - podmínka na konečný průhyb

### Paždíky

#### Posudek na smyk

$b$ [mm]	120
$h$ [mm]	240
$k_{cr}$ [-]	0,67
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	19296

horizontální rozměr  
 vertikální rozměr  
 součinitel vlivu trhlin  
 plocha průřezu

$V_{Ed}$ [kN]	9,38
$\tau_d$ [MPa]	0,73
$\tau_d \leq f_{v,d}$	37,51%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota posouvající síly  
 návrhové smykové napětí od posouvající síly  
 využití průřezu  
 posudek - podmínka na smykovou únosnost



### Posudek na kombinaci dvojsoého ohybu a tahu

<b>b [mm]</b>	120
<b>h [mm]</b>	240
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	28800
<b>W<sub>y</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	1152000
<b>W<sub>z</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	576000
<b>k<sub>m</sub> [-]</b>	0,7

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

součinitel dvojsoého ohybu

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	7,18
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	8,34
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	3,03
<b>σ<sub>t,0,d</sub> [MPa]</b>	0,25
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	7,24
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	5,26
$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{m,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	65,30% <b>VYHOVUJE</b>
$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{m,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	61,87% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tahové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojsoého ohybu a tahu

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojsoého ohybu a tahu

### Posudek na kombinaci dvojsoého ohybu a prostého tlaku

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-2,18
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	-4,66
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	4,88
<b>σ<sub>c,0,d</sub> [MPa]</b>	0,08
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	4,05
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	8,47
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	57,73% <b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	65,42% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojsoého ohybu a prostého tlaku

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojsoého ohybu a prostého tlaku

### Posudek na kombinaci dvojsoého ohybu a tahu

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	11,02
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	-2,65
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	1,58
<b>σ<sub>t,0,d</sub> [MPa]</b>	0,38
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	2,30
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	2,74
$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{m,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	27,64% <b>VYHOVUJE</b>
$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{m,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	28,41% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tahové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojsoého ohybu a tahu

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojsoého ohybu a tahu

### Posudek MSP

$u_{inst,G}$ [mm]	0,0
$u_{inst,Q,1}$ [mm]	9,4
$u_{inst,Q,i}$ [mm]	0,0
$u_c$ [mm]	0,0
$u_{inst}$ [mm]	9,4
$L/300$ [mm]	16,7
	<b>VYHOVUJE</b>
$\Psi_{2,1}$ [-]	0
$\Psi_{0,i}$ [-]	0,6
$\Psi_{2,i}$ [-]	0
$u_{fin,G}$ [mm]	0,0
$u_{fin,Q,1}$ [mm]	9,4
$u_{fin,Q,i}$ [mm]	0,0
$u_{net,fin}$ [mm]	9,4
$L/250$ [mm]	20,0
	<b>VYHOVUJE</b>

okamžitý průhyb od stálého zatížení  
 okamžitý průhyb od hlavního proměnného zatížení  
 okamžitý průhyb od dalšího proměnného zatížení  
 výrobní nadvýšení nosníku  
 celkový okamžitý průhyb  
 limitní hodnota okamžitého průhybu  
 posudek - podmínka na okamžitý průhyb  
 součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení  
 součinitel pro kombinační hodnotu proměnných zatížení  
 součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení  
 konečný průhyb od stálého zatížení  
 konečný průhyb od hlavního proměnného zatížení  
 konečný průhyb od dalšího proměnného zatížení  
 celkový konečný čistý průhyb  
 limitní hodnota konečného čistého průhybu  
 posudek - podmínka na konečný průhyb

## Štítová stěna

### a) Sloupek

#### Posudek na smyk

$b$ [mm]	140
$h$ [mm]	240
$k_{cr}$ [-]	0,67
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	22512

horizontální rozměr  
 vertikální rozměr  
 součinitel vlivu trhlin  
 plocha průřezu

$V_{Ed}$ [kN]	11,3
$\tau_d$ [MPa]	0,75
$\tau_d \leq f_{v,d}$	38,73%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota posouvající síly  
 návrhové smykové napětí od posouvající síly  
 využití průřezu  
 posudek - podmínka na smykovou únosnost

### Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

<b>b [mm]</b>	140
<b>h [mm]</b>	240
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	33600
<b>W<sub>y</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	1344000
<b>W<sub>z</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	784000
<b>k<sub>m</sub> [-]</b>	0,7

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

součinitel dvojosého ohybu (pro obdelníkový průřez roven 0,7)

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-11,95
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	-20,14
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	0,38
<b>σ<sub>c,0,d</sub> [MPa]</b>	0,36
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	14,99
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	0,48
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	88,73% <b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	63,55% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

### Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-15,97
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	-10,38
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	1,4
<b>σ<sub>c,0,d</sub> [MPa]</b>	0,48
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	7,72
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	1,79
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	52,00% <b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	41,70% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

### Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-18,35
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	-4,06
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	0,14
<b>σ<sub>c,0,d</sub> [MPa]</b>	0,55
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	3,02
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	0,18
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	18,30% <b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	13,37% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a prostého tlaku

## b) Překladová příčel

Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a tahu

<b>b [mm]</b>	120
<b>h [mm]</b>	160
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	19200
<b>W<sub>y</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	512000
<b>W<sub>z</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	384000
<b>k<sub>m</sub> [-]</b>	0,7

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

součinitel dvojosého ohybu

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	20,16
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	3,74
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	-0,95
<b>σ<sub>t,0,d</sub> [MPa]</b>	1,05
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	7,30
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	2,47
$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{m,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	61,13% <b>VYHOVUJE</b>
$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{m,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	52,75% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tahové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a tahu

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a tahu

Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a tahu

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	6,26
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	2,94
<b>M<sub>Ed,z</sub> [kNm]</b>	3,45
<b>σ<sub>t,0,d</sub> [MPa]</b>	0,33
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	5,74
<b>σ<sub>m,z,d</sub> [MPa]</b>	8,98
$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{m,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	72,37% <b>VYHOVUJE</b>
$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{m,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	78,00% <b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tahové síly

návrhová hodnota ohybového momentu k ose y

návrhová hodnota ohybového momentu k ose z

návrhové napětí od tahové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

návrhové napětí od ohybového momentu k ose y

návrhové napětí od ohybového momentu k ose z

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a tahu

využití průřezu

posudek - podmínka na kombinaci dvojosého ohybu a tahu

### 10.1.3 Posudek spojů

#### Rámový roh

##### Geometrie konstrukce v rámovém rohu

$L$ [m]	24,2	rozpětí
$h_R$ [mm]	1380	výška průřezu příčle
$b_R$ [mm]	200	šířka průřezu příčle
$h_C$ [mm]	1380	výška průřezu stojky
$b_C$ [mm]	240	šířka průřezu stojky
$\alpha$ [°]	9,1	sklon příčle

##### Návrh momentového spoje

$r_1$ [mm]	550	poloměr vnějšího kruhu
$r_2$ [mm]	450	poloměr vnitřního kruhu
$n_1$ [-]	34	počet spojovacích prostředků vnějšího kruhu
$n_2$ [-]	28	počet spojovacích prostředků vnitřního kruhu

##### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$M_{Ed}$ [kNm]	-688,3	nárhová hodnota ohybového momentu ve stojce a příčli
$V_{Ed,C}$ [kN]	-124,47	nárhová hodnota posouvající síly ve stojce
$N_{Ed,C}$ [kN]	-158,48	nárhová hodnota normálové síly ve stojce
$V_{Ed,R}$ [kN]	-119,13	nárhová hodnota posouvající síly v příčli
$N_{Ed,R}$ [kN]	-144,51	nárhová hodnota normálové síly v příčli

##### Zatížení spojovacího prostředku od vnitřních sil

$F_M$ [kN]	23,73	zatížení spojovacího prostředku ve stojce a příčli od ohybového momentu
$F_{V,C}$ [kN]	4,45	zatížení spojovacího prostředku ve stojce od posouvající síly
$F_{N,C}$ [kN]	5,66	zatížení spojovacího prostředku ve stojce od normálové síly
$F_{V,R}$ [kN]	4,25	zatížení spojovacího prostředku v příčli od posouvající síly
$F_{N,R}$ [kN]	5,16	zatížení spojovacího prostředku v příčli od normálové síly
$V_M$ [kN]	429,81	smysková síla od ohybového momentu v místě spoje
$F_{V,Ed,C}$ [kN]	367,57	nárhová hodnota smyskové síly ve stojce v místě spoje
$F_{V,Ed,R}$ [kN]	370,24	nárhová hodnota smyskové síly v příčli v místě spoje

Zatížení jednotlivých spojovacích prostředků vnějšího kruhu

Číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$\alpha_{MC}$ [°]	2,71	13,30	23,89	34,47	45,06	55,65	66,24	76,83	87,42	98,00	108,59	119,18	129,77	140,36	150,95	161,53	172,12
$\alpha_{MR}$ [°]	79,03	89,62	100,21	110,79	121,38	131,97	142,56	153,15	163,74	174,32	184,91	195,50	206,09	216,68	227,27	237,85	248,44
$F_{Ed,C,T}$ [kN]	28,15	27,54	26,14	24,01	21,20	17,83	14,01	9,85	5,52	1,14	-3,12	-7,12	-10,73	-13,83	-16,30	-18,06	-19,06
$F_{Ed,C,I}$ [kN]	4,54	0,20	-3,95	-7,77	-11,14	-13,93	-16,06	-17,44	-18,04	-17,84	-16,83	-15,06	-12,58	-9,48	-5,86	-1,86	2,41
$F_{Ed,R,T}$ [kN]	8,77	4,41	0,05	-4,17	-8,10	-11,61	-14,58	-16,91	-18,52	-19,36	-19,39	-18,61	-17,05	-14,77	-11,85	-8,37	-4,46
$F_{Ed,R,I}$ [kN]	-18,13	-18,57	-18,19	-17,02	-15,09	-12,48	-9,26	-5,56	-1,48	2,81	7,19	11,50	15,60	19,33	22,59	25,25	27,23
$F_{Ed,C}$ [kN]	28,51	27,54	26,44	25,23	23,95	22,63	21,31	20,03	18,87	17,87	17,12	16,66	16,53	16,76	17,32	18,16	19,21
$F_{Ed,R}$ [kN]	20,14	19,08	18,19	17,52	17,13	17,05	17,28	17,80	18,58	19,56	20,68	21,88	23,11	24,33	25,51	26,60	27,59
$\alpha_{FC}$ [°]	80,84	89,58	98,59	107,94	117,71	127,99	138,90	150,54	163,00	176,34	169,50	154,68	139,52	124,43	109,79	95,87	82,80
$\alpha_{FR}$ [°]	154,19	166,63	179,84	166,24	151,78	137,06	122,42	108,19	94,58	81,73	69,64	58,28	47,56	37,39	27,67	18,34	9,31
Číslo	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
$\alpha_{MC}$ [°]	182,71	193,30	203,89	214,47	225,06	235,65	246,24	256,83	267,42	278,00	288,59	299,18	309,77	320,36	330,95	341,53	352,12
$\alpha_{MR}$ [°]	259,03	269,62	280,21	290,79	301,38	311,97	322,56	333,15	343,74	354,32	4,91	15,50	26,09	36,68	47,27	57,85	68,44
$F_{Ed,C,T}$ [kN]	-19,26	-18,65	-17,25	-15,11	-12,31	-8,94	-5,11	-0,96	3,38	7,75	12,01	16,01	19,62	22,72	25,19	26,95	27,95
$F_{Ed,C,I}$ [kN]	6,78	11,12	15,27	19,09	22,46	25,25	27,38	28,76	29,36	29,16	28,15	26,38	23,90	20,80	17,18	13,18	8,91
$F_{Ed,R,T}$ [kN]	-0,26	4,10	8,46	12,68	16,61	20,12	23,09	25,42	27,03	27,87	27,89	27,12	25,56	23,28	20,36	16,88	12,97
$F_{Ed,R,I}$ [kN]	28,45	28,89	28,51	27,34	25,42	22,80	19,59	15,88	11,81	7,51	3,13	-1,18	-5,27	-9,01	-12,27	-14,93	-16,91
$F_{Ed,C}$ [kN]	20,41	21,71	23,04	24,35	25,61	26,79	27,85	28,78	29,56	30,17	30,60	30,86	30,92	30,80	30,49	30,00	29,34
$F_{Ed,R}$ [kN]	28,46	29,18	29,74	30,14	30,36	30,41	30,28	29,97	29,50	28,86	28,07	27,14	26,10	24,97	23,77	22,53	21,31
$\alpha_{FC}$ [°]	70,60	59,19	48,49	38,37	28,74	19,50	10,58	1,91	6,56	14,88	23,11	31,26	39,39	47,52	55,70	63,95	72,31
$\alpha_{FR}$ [°]	0,52	8,07	16,52	24,88	33,17	41,43	49,70	58,01	66,41	74,92	83,60	92,49	101,66	111,16	121,07	131,49	142,50

úhel mezi spojnici spojovacího prostředku se středem otáčení a osou stojky

úhel mezi spojnici spojovacího prostředku se středem otáčení a osou přčle

celkové zatížení spojovacího prostředku v ose stojky

celkové zatížení spojovacího prostředku v ose přčle

úhel mezi celkovým zatížením spojovacího prostředku v ose stojky a osou stojky

úhel mezi celkovým zatížením spojovacího prostředku v ose přčle a osou přčle

Posudek jednotlivých spojovacích prostředků vnějšího kruhu v ose stojky

Číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$\alpha_1$ [°]	80,84	89,58	81,41	72,06	62,29	52,01	41,10	29,46	17,00	3,66	10,50	25,32	40,48	55,57	70,21	84,13	82,80
$\alpha_2$ [°]	22,84	14,10	5,09	4,26	14,03	24,31	35,22	46,86	59,32	72,66	86,82	78,36	63,20	48,11	33,47	19,55	6,48
$d$ [mm]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$t_1$ [mm]	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
$t_2$ [mm]	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
$f_{h1,k}$ [MPa]	20,28	20,09	20,26	20,83	21,86	23,42	25,53	28,07	30,58	32,07	31,52	28,97	25,66	22,83	20,99	20,17	20,21
$f_{h2,k}$ [MPa]	29,48	31,04	31,99	32,04	31,05	29,18	26,80	24,36	22,26	20,78	20,11	20,40	21,75	24,12	27,18	30,12	31,90
$\beta$ [-]	1,45	1,54	1,58	1,54	1,42	1,25	1,05	0,87	0,73	0,65	0,64	0,70	0,85	1,06	1,29	1,49	1,58
$M_{v,Rk}$ [Nmm]	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281
$F_{v,Rk}$ [N]	48679	48217	48623	49994	52470	56202	61263	67369	73383	76957	75638	69517	61578	54784	50381	48406	48502
	58958	62077	63986	64076	62099	58353	53592	48723	44526	41565	40226	40803	43495	48245	54368	60242	63801
	23192	23226	23454	23885	24531	25401	26474	27649	28674	29113	28584	27190	25531	24189	23409	23183	23407
	27137	27340	27572	27815	28041	28217	28306	28273	28099	27800	27431	27086	26859	26811	26944	27210	27536
	32112	32160	32475	33071	33966	35171	36656	38284	38907	38492	37982	37503	35351	33492	32412	32099	32409
$F_{Edc} / F_{v,Rd}$	88,78%	85,63%	81,41%	76,30%	70,51%	64,34%	58,12%	52,33%	48,49%	46,43%	45,06%	44,41%	46,77%	50,05%	53,43%	56,56%	59,27%
Číslo	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
$\alpha_1$ [°]	70,60	59,19	48,49	38,37	28,74	19,50	10,58	1,91	6,56	14,88	23,11	31,26	39,39	47,52	55,70	63,95	72,31
$\alpha_2$ [°]	5,72	17,13	27,83	37,95	47,58	56,82	65,74	74,41	82,88	88,80	80,57	72,42	64,29	56,16	47,98	39,73	31,37
$d$ [mm]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$t_1$ [mm]	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
$t_2$ [mm]	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
$f_{h1,k}$ [MPa]	20,96	22,28	24,05	26,11	28,23	30,13	31,51	32,12	31,89	30,92	29,42	27,67	25,89	24,23	22,81	21,66	20,81
$f_{h2,k}$ [MPa]	31,95	30,55	28,43	26,20	24,22	22,63	21,45	20,65	20,21	20,09	20,29	20,80	21,62	22,73	24,15	25,82	27,65
$\beta$ [-]	1,52	1,37	1,18	1,00	0,86	0,75	0,68	0,64	0,63	0,65	0,69	0,75	0,83	0,94	1,06	1,19	1,33
$M_{v,Rk}$ [Nmm]	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281
$F_{v,Rk}$ [N]	50298	53476	57725	62659	67748	72310	75615	77094	76547	74208	70620	66413	62132	58162	54735	51976	49945
	63907	61108	56852	52398	48446	45264	42896	41299	40413	40187	40588	41604	43231	45469	48294	51631	55299
	23969	24775	25735	26753	27718	28504	28992	29103	28830	28236	27429	26530	25644	24845	24179	23674	23343
	27851	28102	28257	28310	28266	28144	27966	27755	27534	27321	27131	26978	26869	26813	26811	26866	26976
	33188	34304	35633	37043	38379	38969	38722	38430	38124	37829	37566	36734	35507	34400	33479	32780	32321
$F_{Edc} / F_{v,Rd}$	61,51%	63,28%	64,65%	65,73%	66,73%	68,74%	71,92%	74,89%	77,53%	79,75%	81,47%	84,00%	87,09%	89,53%	91,07%	91,52%	90,76%

Posudek jednotlivých spojovacích prostředků vnějšího kruhu v ose přičle

Číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$\alpha_1$ [°]	77,87	89,69	76,16	62,56	48,10	33,38	18,74	4,51	9,10	21,95	34,04	45,40	56,12	66,29	76,01	85,34	85,63
$\alpha_2$ [°]	25,81	13,37	0,16	13,76	28,22	42,94	57,58	71,81	85,42	81,73	69,64	58,28	47,56	37,39	27,67	18,34	9,31
$d$ [mm]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$t_1$ [mm]	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
$t_2$ [mm]	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
$f_{b,1,k}$ [MPa]	20,43	20,09	20,53	21,83	24,13	27,20	30,27	32,03	31,67	29,66	27,06	24,65	22,74	21,39	20,54	20,14	20,13
$f_{b,2,k}$ [MPa]	28,86	31,14	32,14	31,09	28,34	25,14	22,52	20,85	20,14	20,25	21,05	22,41	24,23	26,32	28,46	30,34	31,65
$\beta$ [-]	1,41	1,55	1,57	1,42	1,17	0,92	0,74	0,65	0,64	0,68	0,78	0,91	1,07	1,23	1,39	1,51	1,57
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281
$F_{y,Rk}$ [N]	49028	48217	49273	52389	57901	65288	72645	76861	76005	71177	64938	59152	54576	51328	49297	48336	48321
	57722	62290	64288	62177	56683	50286	45035	41703	40276	40494	42090	44827	48455	52643	56921	60683	63294
	23223	23238	23672	24511	25772	27262	28558	29111	28679	27551	26222	25042	24149	23563	23255	23186	23324
	27076	27358	27710	28035	28261	28299	28131	27821	27467	27156	26935	26822	26812	26892	27040	27238	27462
$F_{x,Rd}$ [N]	32155	32175	32777	33939	35685	37748	38951	38521	38032	37601	36308	34673	33437	32626	32199	32104	32295
$F_{Ed,e} / F_{x,Rd}$	62,64%	59,31%	55,50%	51,63%	48,01%	45,16%	44,36%	46,22%	48,86%	52,02%	56,95%	63,10%	69,12%	74,58%	79,22%	82,86%	85,44%
Číslo	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
$\alpha_1$ [°]	76,84	68,25	59,80	51,44	43,15	34,89	26,62	18,31	9,91	1,40	7,28	16,17	25,34	34,84	44,75	55,17	66,18
$\alpha_2$ [°]	0,52	8,07	16,52	24,88	33,17	41,43	49,70	58,01	66,41	74,92	83,60	87,51	78,34	68,84	58,93	48,51	37,50
$d$ [mm]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$t_1$ [mm]	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
$t_2$ [mm]	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
$f_{b,1,k}$ [MPa]	20,49	21,18	22,20	23,52	25,10	26,87	28,69	30,35	31,58	32,13	31,84	30,71	28,96	26,88	24,78	22,89	21,40
$f_{b,2,k}$ [MPa]	32,14	31,77	30,66	29,06	27,25	25,46	23,83	22,45	21,37	20,61	20,18	20,10	20,40	21,12	22,32	24,05	26,30
$\beta$ [-]	1,57	1,50	1,38	1,24	1,09	0,95	0,83	0,74	0,68	0,64	0,63	0,65	0,70	0,79	0,90	1,05	1,23
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281	579281
$F_{y,Rk}$ [N]	49171	50834	53272	56438	60238	64485	68851	72834	75798	77118	76410	73715	69509	64514	59461	54936	51358
	64285	63536	61312	58117	54501	50913	47657	44905	42748	41226	40368	40208	40804	42244	44639	48096	52593
	23640	24114	24726	25453	26264	27109	27916	28588	29014	29097	28790	28121	27188	26134	25103	24217	23568
	27692	27908	28090	28224	28297	28305	28245	28123	27951	27742	27515	27289	27085	26924	26826	26809	26890
$F_{x,Rd}$ [N]	32733	33389	34236	35243	36366	37536	38653	38940	38701	38412	38098	37785	37503	36186	34759	33532	32633
$F_{Ed,e} / F_{x,Rd}$	86,93%	87,38%	86,87%	85,52%	83,49%	81,02%	78,34%	76,98%	76,22%	75,13%	73,68%	71,84%	69,60%	69,00%	68,37%	67,20%	65,30%



**Posudek na smyk od spojovacích prostředků v ose stojky**

<b>b [mm]</b>	240	horizontální rozměr
<b>h [mm]</b>	1380	vertikální rozměr
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	331200	plocha průřezu

<b>V<sub>Ed</sub> [kN]</b>	367,57	návrhová hodnota posouvající síly
<b>τ<sub>d</sub> [MPa]</b>	1,66	návrhové smykové napětí od posouvající síly
<b>τ<sub>d</sub> ≤ f<sub>v,d</sub></b>	72,25%	využití průřezu
	<b>VYHOVUJE</b>	posudek - podmínka na smykovou únosnost

**Posudek na smyk od spojovacích prostředků v ose příčle**

<b>b [mm]</b>	200	horizontální rozměr
<b>h [mm]</b>	1380	vertikální rozměr
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	276000	plocha průřezu

<b>V<sub>Ed</sub> [kN]</b>	370,24	návrhová hodnota posouvající síly
<b>τ<sub>d</sub> [MPa]</b>	2,01	návrhové smykové napětí od posouvající síly
<b>τ<sub>d</sub> ≤ f<sub>v,d</sub></b>	87,33%	využití průřezu
	<b>VYHOVUJE</b>	posudek - podmínka na smykovou únosnost

**Patní kloub****a) Posudek čelního plechu****Vnitřní síly**

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-183,15	návrhová hodnota normálové síly
----------------------------	---------	---------------------------------

**Rozměry čelního plechu**

<b>t<sub>p</sub> [mm]</b>	30	tloušťka plechu
<b>h<sub>p</sub> [mm]</b>	700	výška plechu
<b>b<sub>p</sub> [mm]</b>	440	šířka plechu

**Rozměry styčnickového plechu**

<b>t<sub>p</sub> [mm]</b>	20	tloušťka plechu
<b>h<sub>p</sub> [mm]</b>	700	výška plechu
<b>b<sub>p</sub> [mm]</b>	330	šířka plechu

**Posudek na prostý ohyb**

<b>W<sub>y</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	105000	modul průřezu k ose y
---------------------------------------	--------	-----------------------

<b>M<sub>Ed</sub> [kNm]</b>	14,65	návrhová hodnota ohybového momentu
<b>M<sub>Rd</sub> [kNm]</b>	37,28	únosnost v prostém ohybu
<b>M<sub>Ed</sub> / M<sub>Rd</sub></b>	39,31%	využití průřezu
<b>M<sub>Rd</sub> ≥ M<sub>Ed</sub></b>	<b>VYHOVUJE</b>	posudek - podmínka na prostý ohyb

## b) Posudek svorníkového spoje

### Vnitřní síly

$N_{Ed}$ [kN]	0
$V_{Ed}$ [kN]	-125,99
$R_{Ed}$ [kN]	125,99

návrhová hodnota normálové síly

návrhová hodnota posouvající síly

návrhová hodnota síly na spoj (výslednice)

### Minimální rozteče a vzdálenosti pro svorníky

	d [mm]	$\alpha$ [°]	$a_{min}$ [mm]	a [mm]
$a_1$ [mm]	20	28	98	100
$a_2$ [mm]	20	-	80	120
$a_{3,t}$ [mm]	20	-	140	-
$a_{3,c}$ [mm]	20	152	80	180
$a_{4,t}$ [mm]	20	152	60	100
$a_{4,c}$ [mm]	20	-	60	100

### Návrhové zatížení spojovacího prostředku

n [-]	12
$r_1$ [mm]	304
$r_2$ [mm]	304
$r_3$ [mm]	187
$r_4$ [mm]	187
$r_5$ [mm]	78
$r_6$ [mm]	78
$r_7$ [mm]	78
$r_8$ [mm]	78
$r_9$ [mm]	187
$r_{10}$ [mm]	187
$r_{11}$ [mm]	304
$r_{12}$ [mm]	304
e [mm]	350
$F_R$ [kN]	10,50
$F_M$ [kN]	25,11
$F_{Ed}$ [kN]	28,80

počet spojovacích prostředků ve spoji

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

excentricita působící síly vůči těžišti spoje (středu otáčení)

zatížení spojovacího prostředku od výslednice normálové a posouvající

zatížení spojovacího prostředku od excentricky působící výslednice

celkové zatížení nejvíce namáhaného spojovacího prostředku

### Výpočet pevnosti v otláčení

d [mm]	20
$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]	410
$f_{h,0,k}$ [MPa]	26,90

průměr spojovacího prostředku

charakteristická hodnota hustoty dřeva

charakteristická pevnost v otláčení dřeva

### Výpočet pevnosti v otláčení pod úhlem k vláknům

<b>d [mm]</b>	20
<b>k<sub>90</sub> [-]</b>	1,6
<b>α [°]</b>	28,0
<b>f<sub>h,α,k</sub> [MPa]</b>	23,75

průměr spojovacího prostředku

součinitel

úhel zatížení vzhledem k vláknům dřeva

charakteristická pevnost v otláčení dřeva pod úhlem

### Dvojitřizný spoj ocel-dřevo (ocel jako vnější prvek)

<b>d [mm]</b>	20
<b>t<sub>2</sub> [mm]</b>	240
<b>f<sub>h,k</sub> [MPa]</b>	23,75
<b>M<sub>y,Rk</sub> [Nmm]</b>	579281

průměr spojovacího prostředku

tloušťka středního dřevěného prvku

charakteristická pevnost v otláčení dřeva

plastický moment únosnosti 1 spojovacího prostředku

	<b>Dle Johansena</b>	<b>Sepnutí</b>	<b>Celkem</b>
<b>F<sub>v,Rk</sub> [N] = MIN</b>	57011	0	57011
	38156	0	38156

typ porušení dle 1

typ porušení dle m

### Únosnost spoje

<b>n [-]</b>	12
<b>n<sub>řad</sub> [-]</b>	6
<b>n<sub>ef</sub> [-]</b>	1,47
<b>n<sub>ef,α</sub> [-]</b>	1,63
<b>F<sub>v,Rk</sub> [N]</b>	38156
<b>γ<sub>M</sub> [-]</b>	1,3
<b>k<sub>mod</sub> [-]</b>	0,9
<b>F<sub>v,Ed</sub> [N]</b>	345600
<b>F<sub>v,Rd</sub> [N]</b>	518140
<b>F<sub>v,Ed</sub> / F<sub>v,Rd</sub></b>	66,70%
<b>F<sub>v,Rd</sub> ≥ F<sub>v,Ed</sub></b>	<b>VYHOVUJE</b>

počet spojovacích prostředků ve spoji

počet řad ve směru vláken

účinný počet v jedné řadě ve směru vláken

účinný počet v jedné řadě ve směru vláken (síla pod úhlem α)

charakteristická únosnost 1 stříhu spojovacího prostředku

dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje

modifikační součinitel závislý na zatížení a třídě provozu

návrhová smyková síla na spoj

návrhová únosnost spoje

využití spoje

posudek - podmínka na únosnost ve stříhu

### Únosnost spojovacího prostředku

<b>F<sub>v,Rk</sub> [N]</b>	38156
<b>γ<sub>M</sub> [-]</b>	1,3
<b>k<sub>mod</sub> [-]</b>	0,9
<b>F<sub>v,Ed</sub> [N]</b>	28800
<b>F<sub>v,Rd</sub> [N]</b>	52831
<b>F<sub>v,Ed</sub> / F<sub>v,Rd</sub></b>	54,51%
<b>F<sub>v,Rd</sub> ≥ F<sub>v,Ed</sub></b>	<b>VYHOVUJE</b>

charakteristická únosnost 1 stříhu spojovacího prostředku

dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje

modifikační součinitel závislý na zatížení a třídě provozu

návrhová smyková síla na spojovací prostředek

návrhová únosnost spojovacího prostředku

využití spojovacího prostředku

posudek - podmínka na únosnost ve stříhu

### Rozmístění otvorů ve styčnickém plechu

$d_0$ [mm]	20
$e_1$ [mm]	50
$e_2$ [mm]	50
$p_1$ [mm]	120
$p_2$ [mm]	100

průměr otvoru

vzdálenost šroubu od okraje plechu ve směru působící síly

vzdálenost šroubu od okraje plechu kolmo na směr působící síly

vzdálenost mezi šrouby ve směru působící síly

vzdálenost mezi šrouby kolmo na směr působící síly

### Únosnost styčnickového plechu v otláčení

$k_1 [-] = \text{MIN}$	2,50
	5,30
	5,30
$\alpha_b [-] = \text{MIN}$	1,00
	1,57
	0,83
	1,75
$d$ [mm]	20
$t$ [mm]	20
$F_{b,Ed}$ [kN]	28,80
$F_{b,Rd}$ [kN]	340,00
$F_{b,Ed} / F_{b,Rd}$	8,47%
$F_{b,Rd} \geq F_{b,Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>

součinitel

součinitel

průměr spojovacího prostředku

tloušťka otláčovaného materiálu

návrhová smyková síla na spojovací prostředek

únosnost spojovacího prostředku v otláčení

využití spojovacího prostředku

posudek - podmínka na únosnost v otláčení

## c) Posudek čepového ložiska

### Vnitřní síly

$N_{Ed}$ [kN]	-176,69
$V_{Ed}$ [kN]	-125,99
$F_{Ed}$ [kN]	217,01

návrhová hodnota normálové síly

návrhová hodnota posouvající síly

návrhová hodnota síly na čep

### Návrh geometrie čepových plechů

$t_p$ [mm]	20
$d_0$ [mm]	40
$d_0 \leq 2,5 \cdot t_p$	<b>VYHOVUJE</b>
$a_{min}$ [mm]	41,9
$a$ [mm]	50
$c_{min}$ [mm]	28,6
$c$ [mm]	74

tloušťka čepového plechu

průměr otvoru

podmínka na průměr otvoru

minimální vzdálenost otvoru od konce

vzdálenost otvoru od konce

minimální vzdálenost otvoru od okraje

vzdálenost otvoru od okraje

### Únosnost čepu ve stříhu

d [mm]	40
A [mm <sup>2</sup> ]	1256,6

průměr čepu  
plocha průřezu čepu

F <sub>v,Ed</sub> [kN]	217,01
F <sub>v,Rd</sub> [kN]	308
F <sub>v,Ed</sub> / F <sub>v,Rd</sub>	70,54%
F <sub>v,Rd</sub> ≥ F <sub>v,Ed</sub>	VYHOVUJE

návrhová smyková síla na čep  
únosnost čepu ve stříhu  
využití čepu  
posudek - podmínka na únosnost ve stříhu

### Únosnost plechu a čepu v otláčení

d [mm]	40
t [mm]	20
F <sub>b,Ed</sub> [kN]	217,01
F <sub>b,Rd</sub> [kN]	426,00
F <sub>b,Ed</sub> / F <sub>b,Rd</sub>	50,94%
F <sub>b,Rd</sub> ≥ F <sub>b,Ed</sub>	VYHOVUJE

průměr čepu  
tloušťka spojované části  
návrhová smyková síla na čep  
únosnost v otláčení  
využití čepu  
posudek - podmínka na únosnost v otláčení

### Únosnost čepu v ohybu

d [mm]	40
W <sub>et</sub> [mm <sup>3</sup> ]	6283

průměr čepu  
modul průřezu čepu

M <sub>Ed</sub> [kNm]	1,84
M <sub>Rd</sub> [kNm]	3,35
M <sub>Ed</sub> / M <sub>Rd</sub>	55,13%
M <sub>Rd</sub> ≥ M <sub>Ed</sub>	VYHOVUJE

návrhová hodnota ohybového momentu  
únosnost v prostém ohybu  
využití čepu  
posudek - podmínka na prostý ohyb

### Únosnost čepu při kombinaci stříhu a ohybu

F <sub>v,Ed</sub> [kN]	217,01
F <sub>v,Rd</sub> [kN]	308
M <sub>Ed</sub> [kNm]	1,84
M <sub>Rd</sub> [kNm]	3,35
$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$	80,16%
	VYHOVUJE

návrhová smyková síla na čep  
únosnost čepu ve stříhu  
návrhová hodnota ohybového momentu  
únosnost v prostém ohybu  
využití čepu  
posudek - podmínka na kombinaci stříhu a ohybu

#### d) Posudek koutového svaru čelního a styčnickového plechu

##### Návrh koutového svaru

	<b>OBOUSTRANNÝ</b>
a [mm]	4
L [mm]	600
$L > \text{MAX}(6a;30)$	<b>VYHOVUJE</b>

jednostranný/oboustranný koutový svar

účinná tloušťka koutového svaru

délka svaru

podmínka nejmenší přípustné délky svaru

##### Posudek napjatosti koutového svaru

$A_w$ [mm <sup>2</sup> ]	4800
$W_w$ [mm <sup>3</sup> ]	480000
e [mm]	120

účinná plocha koutového svaru

modul průřezu koutového svaru

excentricita působící síly rovnoběžné s osou svaru

$\beta_w$ [-]	0,9
$F_{l,Ed}$ [kN]	-125,99
$F_{\perp,Ed}$ [kN]	-176,69
$\tau_l$ [MPa]	26,25
$\sigma_w$ [MPa]	68,31
$\tau_{\perp}$ [MPa]	48,30
$\sigma_{\perp}$ [MPa]	48,30
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_l^2 + \tau_{\perp}^2))}$ [MPa]	106,77
$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ [MPa]	453,33
	23,55%
	<b>VYHOVUJE</b>
$0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$ [MPa]	367,20
	13,15%
	<b>VYHOVUJE</b>

korelační součinitel pro koutové svary (viz ČSN EN 1993-1-8)

návrhová hodnota síly rovnoběžné s osou svaru

návrhová hodnota síly kolmé na osu svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině rovnoběžné s osou svaru

návrhové normálové napětí ve svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině kolmé na osu svaru

návrhové normálové napětí kolmé na účinný rozměr svaru

výsledné napětí ve svaru

mezí dovolené výsledné napětí ve svaru

využití svaru

posudek 1 - podmínka na únosnost svaru

mezí dovolené normálové napětí kolmé na účinnou rovinu svaru

využití svaru

posudek 2 - podmínka na únosnost svaru

#### e) Posudek koutového svaru čepového a čelního plechu

##### Návrh koutového svaru

	<b>OBOUSTRANNÝ</b>
a [mm]	4
L [mm]	450
$L > \text{MAX}(6a;30)$	<b>VYHOVUJE</b>

jednostranný/oboustranný koutový svar

účinná tloušťka koutového svaru

délka svaru

podmínka nejmenší přípustné délky svaru

#### Posudek napjatosti koutového svaru

$A_w$ [mm <sup>2</sup> ]	3600
$W_w$ [mm <sup>3</sup> ]	270000
$e$ [mm]	90

účinná plocha koutového svaru

modul průřezu koutového svaru

excentricita působící síly rovnoběžné s osou svaru

$\beta_w$ [-]	0,9
$F_{l,Ed}$ [kN]	-125,99
$F_{\perp,Ed}$ [kN]	-176,69
$\tau_l$ [MPa]	35,00
$\sigma_w$ [MPa]	91,08
$\tau_{\perp}$ [MPa]	64,40
$\sigma_{\perp}$ [MPa]	64,40
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_l^2 + \tau_{\perp}^2))}$ [MPa]	142,35
$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ [MPa]	453,33
	31,40%
	<b>VYHOVUJE</b>
$0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$ [MPa]	367,20
	17,54%
	<b>VYHOVUJE</b>

korelační součinitel pro koutové svary (viz ČSN EN 1993-1-8)

návrhová hodnota síly rovnoběžné s osou svaru

návrhová hodnota síly kolmé na osu svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině rovnoběžné s osou svaru

návrhové normálové napětí ve svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině kolmé na osu svaru

návrhové normálové napětí kolmé na účinný rozměr svaru

výsledné napětí ve svaru

mezní dovolené výsledné napětí ve svaru

využití svaru

posudek 1 - podmínka na únosnost svaru

mezní dovolené normálové napětí kolmé na účinnou rovinu svaru

využití svaru

posudek 2 - podmínka na únosnost svaru

#### f) Posudek kotevních šroubů ŽB patky

##### Vnitřní síly

$N_{Ed}$ [kN]	0
$V_{Ed}$ [kN]	-125,99

návrhová hodnota normálové síly

návrhová hodnota posouvající síly

##### Rozměry patního plechu

$t_p$ [mm]	30
$h_p$ [mm]	700
$b_p$ [mm]	400

tloušťka plechu

výška plechu

šířka plechu

##### Kotevní šrouby

$n$ [-]	4
	<b>M24</b>
	<b>8.8</b>
$d$ [mm]	24
$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	353
$f_{yb}$ [MPa]	640
$f_{ub}$ [MPa]	800
$\gamma_{M2}$ [-]	1,25

počet šroubů

typ šroubu

jakost šroubu

průměr šroubu

plocha jádra šroubu

mez kluzu šroubu

mez pevnosti šroubu

díleč součinitel spolehlivosti pro spoje

### Únosnost šroubu ve střihu

$\alpha_v$ [-]	0,6
$F_{v,Ed}$ [kN]	31,50
$F_{v,Rd}$ [kN]	136
$F_{v,Ed} / F_{v,Rd}$	23,24%
$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>

součinitel

návrhová smyková síla na šroub

únosnost šroubu ve střihu

využití šroubu

posudek - podmínka na únosnost ve střihu

### Rozmístění otvorů v patním plechu

$d_0$ [mm]	24
$e_1$ [mm]	50
$e_2$ [mm]	50
$p_1$ [mm]	600
$p_2$ [mm]	300

průměr otvoru

vzdálenost šroubu od okraje plechu ve směru působící síly

vzdálenost šroubu od okraje plechu kolmo na směr působící síly

vzdálenost mezi šrouby ve směru působící síly

vzdálenost mezi šrouby kolmo na směr působící síly

### Únosnost styčnickového plechu v otláčení

$k_1$ [-] = MIN	2,50
	4,13
	15,80
$\alpha_b$ [-] = MIN	1,00
	1,57
	0,69
	8,08
$d$ [mm]	24
$t$ [mm]	30
$F_{b,Ed}$ [kN]	31,50
$F_{b,Rd}$ [kN]	510,00
$F_{b,Ed} / F_{b,Rd}$	6,18%
$F_{b,Rd} \geq F_{b,Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>

průměr šroubu

tloušťka otláčovaného materiálu

návrhová smyková síla na šroub

únosnost v otláčení

využití šroubu

posudek - podmínka na únosnost v otláčení

### Únosnost betonu v otláčení

$d$ [mm]	24
$h$ [mm]	400
$F_{v,Ed}$ [kN]	31,50
$\sigma_d$ [MPa]	3,28
$f_{od}$ [MPa]	40
$\sigma_d / f_{od}$	8,20%
$f_{od} \geq \sigma_d$	<b>VYHOVUJE</b>

průměr šroubu

hloubka zabetonování

návrhová smyková síla na šroub

návrhové napětí působící na beton patky

návrhová pevnost betonu v otláčení

využití betonu

posudek - podmínka na únosnost v otláčení



## Železobetonová patka

### Vnitřní síly

$V_d$ [kN]	156,00
$H_{d,x}$ [kN]	123,00
$e_{Hx}$ [mm]	920
$H_{d,y}$ [kN]	0,00
$e_{Hy}$ [mm]	0
$M_{d,x}$ [kNm]	0,00
$M_{d,y}$ [kNm]	0,00

návrhová hodnota vertikální síly

návrhová hodnota horizontální síly ve směru x

excentricita horizontální síly vůči základové spáře

návrhová hodnota horizontální síly ve směru y

excentricita horizontální síly vůči základové spáře

návrhová hodnota ohybového momentu ve směru x

návrhová hodnota ohybového momentu ve směru y

### Rozměry patního plechu

$t_p$ [mm]	30
$h_p$ [mm]	700
$b_p$ [mm]	400

tloušťka plechu

výška plechu

šířka plechu

### Návrh geometrie dvoustupňové patky

$b_{x,1}$ [mm]	2400
$b_y$ [mm]	1400
$b_{x,2}$ [mm]	1550
$h$ [mm]	800
$h_1$ [mm]	400
$h_2$ [mm]	400
$e_x$ [mm]	725
$e_y$ [mm]	0
$A_{ef}$ [mm <sup>2</sup> ]	1328923
$c_x$ [mm]	700
$c_y$ [mm]	400
$a_{x,1}$ [mm]	850
$a_{y,1}$ [mm]	500
$a \geq h \geq a/2$	<b>VYHOVUJE</b>

rozměr 1. stupně patky ve směru x

rozměr patky ve směru y

rozměr 2. stupně patky ve směru x

výška patky

výška 1. stupně patky

výška 2. stupně patky

excentricita zatížení ve směru x

excentricita zatížení ve směru y

efektivní kontaktní plocha patky

rozměr patního plechu ve směru x

rozměr patního plechu ve směru y

délka vyložení patky ve směru x

délka vyložení patky ve směru y

podmínka na výšku patky

### Krytí výztuže

$c_{min,b}$ [mm]	16
$c_{min,dur}$ [mm]	20
$c_{min}$ [mm]	20
$\Delta c_{dev}$ [mm]	30
$c_{nom}$ [mm]	50

minimální krycí vrstva s ohledem na soudržnost (průměr výztuže)

minimální krycí vrstva s ohledem na stupeň prostředí

minimální krycí vrstva

přídavek k minimální krycí vrstvě

krycí vrstva výztuže

**Posudek únosnosti základové půdy**

$A_{ef}$ [mm <sup>2</sup> ]	1328923
$V_d$ [kN]	211,30
$\sigma_d$ [kPa]	159,0
$R_d$ [kPa]	300
$\sigma_d / R_d$	53,00%
$R_d \geq \sigma_d$	<b>VYHOVUJE</b>

efektivní kontaktní plocha patky

návrhová hodnota vertikální síly (včetně vlastní tíhy)

kontaktní napětí od vertikální síly

únosnost zeminy

využití zeminy

posudek - podmínka na únosnost zeminy

**Posudek výztuže ve směru x pro průřez u patního plechu**

$\phi_x$ [mm]	16
$n_x$ [-]	10
$A_{s,x}$ [mm <sup>2</sup> ]	2010,6
$d_x$ [mm]	742
$F_{s,x}$ [kN]	734,31
$x_x$ [mm]	32,8
$M_{Ed,x}$ [kNm]	101,51
$M_{Rd,x}$ [kNm]	535,23
$M_{Ed,x} / M_{Rd,x}$	18,97%
$M_{Rd,x} \geq M_{Ed,x}$	<b>VYHOVUJE</b>

průměr prutu

počet prutů

plocha výztuže

účinná výška výztuže

síla, kterou přenesou výztuž

výška tlačného betonu

návrhová hodnota ohybového momentu

moment na mezi únosnosti

využití průřezu

posudek - podmínka na ohybovou únosnost

**Posudek výztuže ve směru x pro průřez na rozhraní 1. a 2. stupně patky**

$\phi_x$ [mm]	16
$n_x$ [-]	10
$A_{s,x}$ [mm <sup>2</sup> ]	2010,6
$d_x$ [mm]	342
$F_{s,x}$ [kN]	734,31
$x_x$ [mm]	32,8
$M_{Ed,x}$ [kNm]	48,12
$M_{Rd,x}$ [kNm]	241,51
$M_{Ed,x} / M_{Rd,x}$	19,92%
$M_{Rd,x} \geq M_{Ed,x}$	<b>VYHOVUJE</b>

průměr prutu

počet prutů

plocha výztuže

účinná výška výztuže

síla, kterou přenesou výztuž

výška tlačného betonu

návrhová hodnota ohybového momentu

moment na mezi únosnosti

využití průřezu

posudek - podmínka na ohybovou únosnost

**Rozdělovací výztuž ve směru y**

$\phi$ [mm]	7
$n$ [-]	12
$A_{s,r}$ [mm <sup>2</sup> ]	461,8

průměr prutu

počet prutů

plocha výztuže

**Omezení množství hlavní výztuže ve směru x**

$A_{s,x}$ [mm <sup>2</sup> ]	2010,6
$A_{s,min}$ [mm <sup>2</sup> ]	1864,9
$A_{s,max}$ [mm <sup>2</sup> ]	44800
$A_{s,max} \geq A_s \geq A_{s,min}$	<b>VYHOVUJE</b>

plocha výztuže

minimální přípustná plocha výztuže

maximální přípustná plocha výztuže

podmínka omezující množství hlavní výztuže

#### Omezení výšky tlačené oblasti ve směru x

$x$ [mm]	32,8
$\xi_{BAL}$ [-]	0,657
$x_{lim}$ [mm]	487,6
$x_{lim} \geq x$	<b>VYHOVUJE</b>

výška tlačené oblasti betonu

limitní výška tlačené oblasti betonu

podmínka omezující výšku tlačené oblasti

#### Maximální osová vzdálenost hlavní výztuže

$s$ [mm]	135
$s_{max}$ [mm]	300
$s_{max} \geq s$	<b>VYHOVUJE</b>

osová vzdálenost prutů výztuže

maximální přípustná osová vzdálenost

podmínka na maximální osovou vzdálenost hlavní výztuže

#### Minimální světla vzdálenost hlavní výztuže

$s$ [mm]	119
$d_g$ [mm]	16
$s_{min}$ [mm]	21
$s \geq s_{min}$	<b>VYHOVUJE</b>

světla vzdálenost mezi pruty výztuže

největší průměr zrna kameniva

minimální přípustná světla vzdálenost

podmínka na minimální světla vzdálenost hlavní výztuže

#### Kotvení výztuže ve směru x

$x$ [mm]	400
$z_i$ [mm]	729
$z_e$ [mm]	755
$R$ [kN]	89,04
$F_s$ [kN]	92,23
$f_{ctd}(t)$ [MPa]	1,33
$\eta_1$ [-]	1
$\eta_2$ [-]	1
$f_{bd}$ [MPa]	3,00
$l_{b,rqd}$ [mm]	61,2
$\alpha_1$ [-]	1
$\alpha_2$ [-]	1
$\alpha_3$ [-]	1
$\alpha_4$ [-]	1
$\alpha_5$ [-]	1
$l_{bd}$ [mm]	61,2
$l_{bd}$ [mm]	350,0
$l_{bd,min}$ [mm]	160,0
$l_{bd} \geq l_{bd,min}$	<b>VYHOVUJE</b>

rameno vnitřních sil (tj. vzdálenost mezi výztuží a vodorovnou silou  $F_c$ )

rameno vnějších sil (tj. vzdálenost mezi  $R$  a svislou silou  $N_{Ed}$ )

výslednice tlaků v základové půdě

tahová síla která má být zakotvena

návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu

součinitel zohledňující podmínky soudržnosti

součinitel závislý na průměru prutu

mezní napětí v soudržnosti

základní požadovaná kotvení délka

součinitel vlivu tvaru prutu

součinitel vlivu minimální betonové krycí vrstvy

součinitel vlivu ovinutí příčnou výztuží

součinitel vlivu přivařených prutů

součinitel vlivu tlaku kolmého na rovinu odštěpování betonu

návrhová kotvení délka

zvolená kotvení délka

minimální kotvení délka pro kotvení v tahu

podmínka na minimální kotvení délku

## Vrcholový kloub

### a) Posudek čelního plechu

#### Vnitřní síly

$N_{Ed}$ [kN]	-138,39
---------------	---------

návrhová hodnota normálové síly

#### Rozměry čelního plechu

$t_p$ [mm]	20
$h_p$ [mm]	600
$b_p$ [mm]	200

tloušťka plechu

výška plechu

šířka plechu

#### Rozměry styčnickového plechu

$t_p$ [mm]	12
$h_p$ [mm]	560
$b_p$ [mm]	180

tloušťka plechu

výška plechu

šířka plechu

#### Posudek na prostý ohyb

$W_v$ [mm <sup>3</sup> ]	40000
--------------------------	-------

modul průřezu k ose y

$M_{Ed}$ [kNm]	3,67
$M_{Rd}$ [kNm]	14,20
$M_{Ed} / M_{Rd}$	25,83%
$M_{Rd} \geq M_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota ohybového momentu

únosnost v prostém ohybu

využití průřezu

posudek - podmínka na prostý ohyb

### b) Posudek svorníkového spoje

#### Vnitřní síly

$N_{Ed}$ [kN]	0
$V_{Ed}$ [kN]	-38,80
$R_{Ed}$ [kN]	38,80

návrhová hodnota normálové síly

návrhová hodnota posouvající síly

návrhová hodnota síly na spoj (výslednice)

#### Minimální rozteče a vzdálenosti pro svorníky

	$d$ [mm]	$\alpha$ [°]	$a_{min}$ [mm]	$a$ [mm]
$a_1$ [mm]	20	32	97	-
$a_2$ [mm]	20	-	80	120
$a_{3,t}$ [mm]	20	-	140	-
$a_{3,c}$ [mm]	20	148	84	130
$a_{4,t}$ [mm]	20	148	61	120
$a_{4,c}$ [mm]	20	-	60	120

#### Návrhové zatížení spojovacího prostředku

$n$ [-]	4
$r_1$ [mm]	180
$r_2$ [mm]	60
$r_3$ [mm]	60
$r_4$ [mm]	180
$e$ [mm]	240
$F_R$ [kN]	9,70
$F_M$ [kN]	23,28
$F_{Ed}$ [kN]	26,90

počet spojovacích prostředků ve spoji

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

vzdálenost spojovacího prostředku od těžiště spoje (středu otáčení)

excentricita výslednice vůči těžišti spoje (středu otáčení)

zatížení spojovacího prostředku od výslednice normálové a posouvají

zatížení spojovacího prostředku od excentricky působící výslednice

celkové zatížení nejvíce namáhaného spojovacího prostředku

#### Výpočet pevnosti v otláčení

$d$ [mm]	20
$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]	410
$f_{h,0,k}$ [MPa]	26,90

průměr spojovacího prostředku

charakteristická hodnota hustoty dřeva

charakteristická pevnost v otláčení dřeva

#### Výpočet pevnosti v otláčení pod úhlem k vláknům

$d$ [mm]	20
$k_{90}$ [-]	1,6
$\alpha$ [°]	32,0
$f_{h,\alpha,k}$ [MPa]	23,02

průměr spojovacího prostředku

součinitel

úhel zatížení vzhledem k vláknům dřeva

charakteristická pevnost v otláčení dřeva pod úhlem

#### Dvojitřizný spoj ocel-dřevo (ocel jako střední prvek)

$d$ [mm]	20
$t_1$ [mm]	94
$f_{h,k}$ [MPa]	23,02
$M_{y,Rk}$ [Nmm]	579281

průměr spojovacího prostředku

menší tloušťka krajního dřevěného prvku nebo hloubka vniku

charakteristická pevnost v otláčení dřeva

plastický moment únosnosti 1 spojovacího prostředku

	Dle Johansena	Sepnutí	Celkem
$F_{v,Rk}$ [N] = MIN	43273	0	43273
	26094	0	26094
	37559	0	37559

typ porušení dle f

typ porušení dle g

typ porušení dle h

#### Únosnost spojovacího prostředku

$F_{v,Rk}$ [N]	26094
$\gamma_M$ [-]	1,3
$k_{mod}$ [-]	0,9
$F_{v,Ed}$ [N]	26900
$F_{v,Rd}$ [N]	36131
$F_{v,Ed} / F_{v,Rd}$	74,45%
$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>

charakteristická únosnost 1 stříhu spojovacího prostředku

dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje

modifikační součinitel závislý na zatížení a třídě provozu

návrhová smyková síla na spojovací prostředek

návrhová únosnost spojovacího prostředku

využití spojovacího prostředku

posudek - podmínka na únosnost ve stříhu

#### Rozmístění otvorů ve styčnickém plechu

$d_0$ [mm]	16
$e_1$ [mm]	95
$e_2$ [mm]	50
$p_1$ [mm]	120

průměr otvoru

vzdálenost šroubu od okraje plechu ve směru působící síly

vzdálenost šroubu od okraje plechu kolmo na směr působící síly

vzdálenost mezi šrouby ve směru působící síly

#### Únosnost styčnickového plechu v otláčení

$k_1 [-] = \text{MIN}$	2,50
	7,05
$\alpha_b [-] = \text{MIN}$	1,00
	1,57
	1,98
	2,25
$d$ [mm]	20
$t$ [mm]	12
$F_{b,Ed}$ [kN]	26,90
$F_{b,Rd}$ [kN]	244,80
$F_{b,Ed} / F_{b,Rd}$	10,99%
$F_{b,Rd} \geq F_{b,Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>

součinitel

součinitel

průměr spojovacího prostředku

tloušťka otláčovaného materiálu

návrhová smyková síla na spojovací prostředek

únosnost spojovacího prostředku v otláčení

využití spojovacího prostředku

posudek - podmínka na únosnost v otláčení

### c) Posudek čepového ložiska

#### Vnitřní síly

$N_{Ed}$ [kN]	-138,39
$V_{Ed}$ [kN]	-30,39
$F_{Ed}$ [kN]	141,69

návrhová hodnota normálové síly

návrhová hodnota posouvající síly

návrhová hodnota síly na čep

#### Návrh geometrie čepových plechů

$t_p$ [mm]	16
$d_0$ [mm]	40
$d_0 \leq 2,5 \cdot t_p$	<b>VYHOVUJE</b>
$a_{min}$ [mm]	39,1
$a$ [mm]	50
$c_{min}$ [mm]	25,8
$c$ [mm]	74

tloušťka čepového plechu

průměr otvoru

podmínka na průměr otvoru

minimální vzdálenost otvoru od konce

vzdálenost otvoru od konce

minimální vzdálenost otvoru od okraje

vzdálenost otvoru od okraje

### Únosnost čepu ve střihu

d [mm]	40
A [mm <sup>2</sup> ]	1256,6

průměr čepu  
plocha průřezu čepu

F <sub>v,Ed</sub> [kN]	141,69
F <sub>v,Rd</sub> [kN]	308
F <sub>v,Ed</sub> / F <sub>v,Rd</sub>	46,06%
F <sub>v,Rd</sub> ≥ F <sub>v,Ed</sub>	VYHOVUJE

návrhová smyková síla na čep  
únosnost čepu ve střihu  
využití čepu  
posudek - podmínka na únosnost ve střihu

### Únosnost plechu a čepu v otláčení

d [mm]	40
t [mm]	16
F <sub>b,Ed</sub> [kN]	141,69
F <sub>b,Rd</sub> [kN]	340,80
F <sub>b,Ed</sub> / F <sub>b,Rd</sub>	41,57%
F <sub>b,Rd</sub> ≥ F <sub>b,Ed</sub>	VYHOVUJE

průměr čepu  
tloušťka spojované části  
návrhová smyková síla na čep  
únosnost v otláčení  
využití čepu  
posudek - podmínka na únosnost v otláčení

### Únosnost čepu v ohybu

d [mm]	40
W <sub>et</sub> [mm <sup>3</sup> ]	6283

průměr čepu  
modul průřezu čepu

M <sub>Ed</sub> [kNm]	0,99
M <sub>Rd</sub> [kNm]	3,35
M <sub>Ed</sub> / M <sub>Rd</sub>	29,64%
M <sub>Rd</sub> ≥ M <sub>Ed</sub>	VYHOVUJE

návrhová hodnota ohybového momentu  
únosnost v prostém ohybu  
využití čepu  
posudek - podmínka na prostý ohyb

### Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

F <sub>v,Ed</sub> [kN]	141,69
F <sub>v,Rd</sub> [kN]	308
M <sub>Ed</sub> [kNm]	0,99
M <sub>Rd</sub> [kNm]	3,35
$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$	30,00% VYHOVUJE

návrhová smyková síla na čep  
únosnost čepu ve střihu  
návrhová hodnota ohybového momentu  
únosnost v prostém ohybu  
využití čepu  
posudek - podmínka na kombinaci střihu a ohybu

## d) Posudek koutového svaru čelního a styčnickového plechu

### Návrh koutového svaru

	<b>OBOUSTRANNÝ</b>
a [mm]	4
L [mm]	560
$L > \text{MAX}(6a;30)$	<b>VYHOVUJE</b>

jednostranný/oboustranný koutový svar

účinná tloušťka koutového svaru

délka svaru

podmínka nejmenší přípustné délky svaru

### Posudek napjatosti koutového svaru

$A_w$ [mm <sup>2</sup> ]	4480
$W_w$ [mm <sup>3</sup> ]	418133
e [mm]	110

účinná plocha koutového svaru

modul průřezu koutového svaru

excentricita působící síly rovnoběžné s osou svaru

$\beta_w$ [-]	0,9
$F_{l,Ed}$ [kN]	56,00
$F_{\perp,Ed}$ [kN]	130,20
$\tau_l$ [MPa]	12,50
$\sigma_w$ [MPa]	43,79
$\tau_{\perp}$ [MPa]	30,97
$\sigma_{\perp}$ [MPa]	30,97
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_l^2 + \tau_{\perp}^2))}$ [MPa]	65,61
$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ [MPa]	453,33
	14,47%
	<b>VYHOVUJE</b>
$0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$ [MPa]	367,20
	8,43%
	<b>VYHOVUJE</b>

korelační součinitel pro koutové svary (viz ČSN EN 1993-1-8)

návrhová hodnota síly rovnoběžné s osou svaru

návrhová hodnota síly kolmé na osu svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině rovnoběžné s osou svaru

návrhové normálové napětí ve svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině kolmé na osu svaru

návrhové normálové napětí kolmé na účinný rozměr svaru

výsledné napětí ve svaru

mezí dovolené výsledné napětí ve svaru

využití svaru

posudek 1 - podmínka na únosnost svaru

mezí dovolené normálové napětí kolmé na účinnou rovinu svaru

využití svaru

posudek 2 - podmínka na únosnost svaru

## e) Posudek koutového svaru čepového a čelního plechu

### Návrh koutového svaru

	<b>OBOUSTRANNÝ</b>
a [mm]	4
L [mm]	350
$L > \text{MAX}(6a;30)$	<b>VYHOVUJE</b>

jednostranný/oboustranný koutový svar

účinná tloušťka koutového svaru

délka svaru

podmínka nejmenší přípustné délky svaru



### Posudek napjatosti koutového svaru

$A_w$ [mm <sup>2</sup> ]	2800
$W_w$ [mm <sup>3</sup> ]	163333
$e$ [mm]	90

účinná plocha koutového svaru

modul průřezu koutového svaru

excentricita působící síly rovnoběžné s osou svaru

$\beta_w$ [-]	0,9
$F_{l,Ed}$ [kN]	56,00
$F_{\perp,Ed}$ [kN]	130,20
$\tau_I$ [MPa]	20,00
$\sigma_w$ [MPa]	77,36
$\tau_{\perp}$ [MPa]	54,70
$\sigma_{\perp}$ [MPa]	54,70
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{\perp}^2))}$ [MPa]	114,75
$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ [MPa]	453,33
	25,31%
	<b>VYHOVUJE</b>
$0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$ [MPa]	367,20
	14,90%
	<b>VYHOVUJE</b>

korelační součinitel pro koutové svary (viz ČSN EN 1993-1-8)

návrhová hodnota síly rovnoběžné s osou svaru

návrhová hodnota síly kolmé na osu svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině rovnoběžné s osou svaru

návrhové normálové napětí ve svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině kolmé na osu svaru

návrhové normálové napětí kolmé na účinný rozměr svaru

výsledné napětí ve svaru

mezí dovolené výsledné napětí ve svaru

využití svaru

posudek 1 - podmínka na únosnost svaru

mezí dovolené normálové napětí kolmé na účinnou rovinu svaru

využití svaru

posudek 2 - podmínka na únosnost svaru

## Přípoj rozpěry a táhla

### a) Posudek svorníkového spoje příčle ke styčnickovému plechu

#### Rozměry styčnickového plechu

$t_p$ [mm]	10
$h_p$ [mm]	250
$b_p$ [mm]	160

tloušťka plechu

výška plechu

šířka plechu

#### Minimální rozteče a vzdálenosti pro svorníky

	$d$ [mm]	$\alpha$ [°]	$a_{min}$ [mm]	$a$ [mm]
$a_1$ [mm]	16	0	80	80
$a_2$ [mm]	16	-	64	-
$a_{3,t}$ [mm]	16	-	112	130
$a_{3,c}$ [mm]	16	90	112	
$a_{4,t}$ [mm]	16	0	48	80
$a_{4,c}$ [mm]	16	-	48	

#### Výpočet pevnosti v otláčení

$d$ [mm]	16
$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]	380
$f_{h,0,k}$ [MPa]	26,17

průměr spojovacího prostředku

charakteristická hodnota hustoty dřeva

charakteristická pevnost v otláčení dřeva

### Výpočet pevnosti v otláčení pod úhlem k vláknům

<b>d [mm]</b>	16	průměr spojovacího prostředku
<b>k<sub>90</sub> [-]</b>	1,54	součinitel
<b>α [°]</b>	0,0	úhel zatížení vzhledem k vláknům dřeva
<b>f<sub>h,α,k</sub> [MPa]</b>	26,17	charakteristická pevnost v otláčení dřeva pod úhlem

### Dvojitřizný spoj ocel-dřevo (ocel jako střední prvek)

<b>d [mm]</b>	16	průměr spojovacího prostředku
<b>t<sub>1</sub> [mm]</b>	65	menší tloušťka krajního dřevěného prvku nebo hloubka vniku
<b>f<sub>h,k</sub> [MPa]</b>	26,17	charakteristická pevnost v otláčení dřeva
<b>M<sub>y,Rk</sub> [Nmm]</b>	324282	plastický moment únosnosti 1 spojovacího prostředku

	Dle Johansena	Sepnutí	Celkem	
<b>F<sub>v,Rk</sub> [N] = MIN</b>	27221	0	27221	typ porušení dle f
	17781	0	17781	typ porušení dle g
	26803	0	26803	typ porušení dle h

### Únosnost spoje

<b>n [-]</b>	2	počet spojovacích prostředků ve spoji
<b>n<sub>řad</sub> [-]</b>	1	počet řad ve směru vláken
<b>n<sub>ef</sub> [-]</b>	1,47	účinný počet v jedné řadě ve směru vláken
<b>n<sub>ef,α</sub> [-]</b>	1,47	účinný počet v jedné řadě ve směru vláken (síla pod úhlem α)
<b>F<sub>v,Rk</sub> [N]</b>	17781	charakteristická únosnost 1 stříhu spojovacího prostředku
<b>γ<sub>M</sub> [-]</b>	1,3	dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje
<b>k<sub>mod</sub> [-]</b>	0,9	modifikační součinitel závislý na zatížení a třídě provozu
<b>F<sub>v,Ed</sub> [N]</b>	26620	návrhová smyková síla na spoj
<b>F<sub>v,Rd</sub> [N]</b>	36180	návrhová únosnost spoje
<b>F<sub>v,Ed</sub> / F<sub>v,Rd</sub></b>	73,58%	využití spoje
<b>F<sub>v,Rd</sub> ≥ F<sub>v,Ed</sub></b>	<b>VYHOVUJE</b>	posudek - podmínka na únosnost ve stříhu

### Rozmístění otvorů ve styčnickovém plechu

<b>d<sub>0</sub> [mm]</b>	16	průměr otvoru
<b>e<sub>1</sub> [mm]</b>	50	vzdálenost šroubu od okraje plechu ve směru působící síly
<b>e<sub>2</sub> [mm]</b>	80	vzdálenost šroubu od okraje plechu kolmo na směr působící síly
<b>p<sub>1</sub> [mm]</b>	120	vzdálenost mezi šrouby ve směru působící síly

### Únosnost styčnickového plechu v otláčení

$k_1 [-] = \text{MIN}$	2,50
	12,30
$\alpha_b [-] = \text{MIN}$	1,00
	1,57
	1,04
	2,25
$d [\text{mm}]$	16
$t [\text{mm}]$	10
$F_{b,Ed} [\text{kN}]$	13,31
$F_{b,Rd} [\text{kN}]$	163,20
$F_{b,Ed} / F_{b,Rd}$	8,16%
$F_{b,Rd} \geq F_{b,Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>

průměr spojovacího prostředku

tloušťka otláčovaného materiálu

návrhová smyková síla na spojovací prostředek

únosnost spojovacího prostředku v otláčení

využití spojovacího prostředku

posudek - podmínka na únosnost v otláčení

### Únosnost styčnickového plechu oslabeného otvory v tahu

$A_{net} [\text{mm}^2]$	1280
-------------------------	------

oslabená plocha průřezu

$N_{Ed} [\text{kN}]$	26,62
$N_{Rd} [\text{kN}]$	470,02
$N_{Ed} / N_{Rd}$	5,66%
$N_{Rd} \geq N_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tahové síly

únosnost v tahu

využití průřezu

posudek - podmínka na tah oslabeného průřezu

## b) Posudek svorníkového spoje čelního plechu k vazníku

### Rozměry čelního plechu

$t_p [\text{mm}]$	12
$h_p [\text{mm}]$	370
$b_p [\text{mm}]$	160

tloušťka plechu

výška plechu

šířka plechu

### Únosnost svorníku v tahu

	<b>M20</b>
	<b>8.8</b>
$d [\text{mm}]$	20
$A_s [\text{mm}^2]$	245,0
$f_{yb} [\text{MPa}]$	640
$f_{ub} [\text{MPa}]$	800
$\gamma_{M2} [-]$	1,25

typ šroubu

jakost šroubu

průměr šroubu

plocha jádra šroubu

mez kluzu šroubu

mez pevnosti šroubu

dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje

$k_2 [-]$	0,63
$F_{t,Ed} [\text{kN}]$	13,83
$F_{t,Rd} [\text{kN}]$	99
$F_{t,Ed} / F_{t,Rd}$	14,00%
$F_{t,Rd} \geq F_{t,Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>

součinitel

návrhová tahová síla na šroub

únosnost šroubu v tahu

využití šroubu

posudek - podmínka na únosnost v tahu

### c) Posudek koutového svaru čelního a styčnickového plechu

#### Návrh koutového svaru

	<b>OBOUSTRANNÝ</b>
a [mm]	4
L [mm]	160
$L > \text{MAX}(6a;30)$	<b>VYHOVUJE</b>

jednostranný/oboustranný koutový svar

účinná tloušťka koutového svaru

délka svaru

podmínka nejmenší přípustné délky svaru

#### Posudek napjatosti koutového svaru

$A_w$ [mm <sup>2</sup> ]	1280
$W_w$ [mm <sup>3</sup> ]	34133
e [mm]	0

účinná plocha koutového svaru

modul průřezu koutového svaru

excentricita působící síly rovnoběžné s osou svaru

$\beta_w$ [-]	0,9
$F_{l,Ed}$ [kN]	0,00
$F_{\perp,Ed}$ [kN]	26,62
$\tau_l$ [MPa]	0,00
$\sigma_w$ [MPa]	20,80
$\tau_{\perp}$ [MPa]	14,71
$\sigma_{\perp}$ [MPa]	14,71
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_l^2 + \tau_{\perp}^2))}$ [MPa]	29,41
$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ [MPa]	453,33
	6,49%
	<b>VYHOVUJE</b>
$0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$ [MPa]	367,20
	4,00%
	<b>VYHOVUJE</b>

korelační součinitel pro koutové svary (viz ČSN EN 1993-1-8)

návrhová hodnota síly rovnoběžné s osou svaru

návrhová hodnota síly kolmé na osu svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině rovnoběžné s osou svaru

návrhové normálové napětí ve svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině kolmé na osu svaru

návrhové normálové napětí kolmé na účinný rozměr svaru

výsledné napětí ve svaru

mezí dovolené výsledné napětí ve svaru

využití svaru

posudek 1 - podmínka na únosnost svaru

mezí dovolené normálové napětí kolmé na účinnou rovinu svaru

využití svaru

posudek 2 - podmínka na únosnost svaru

### d) Posudek koutového svaru čelního a čepového plechu

#### Návrh koutového svaru

	<b>OBOUSTRANNÝ</b>
a [mm]	4
L [mm]	110
$L > \text{MAX}(6a;30)$	<b>VYHOVUJE</b>

jednostranný/oboustranný koutový svar

účinná tloušťka koutového svaru

délka svaru

podmínka nejmenší přípustné délky svaru

#### Posudek napjatosti koutového svaru

$A_w$ [mm <sup>2</sup> ]	880
$W_w$ [mm <sup>3</sup> ]	16133
$e$ [mm]	40

účinná plocha koutového svaru

modul průřezu koutového svaru

excentricita působící síly rovnoběžné s osou svaru

$\beta_w$ [-]	0,9
$F_{l,Ed}$ [kN]	25,00
$F_{\perp,Ed}$ [kN]	25,00
$\tau_I$ [MPa]	28,40
$\sigma_w$ [MPa]	90,38
$\tau_{\perp}$ [MPa]	63,91
$\sigma_{\perp}$ [MPa]	63,91
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_I^2 + \tau_{\perp}^2))}$ [MPa]	136,96
$f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ [MPa]	453,33
	30,21%
	<b>VYHOVUJE</b>
$0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$ [MPa]	367,20
	17,40%
	<b>VYHOVUJE</b>

korelační součinitel pro koutové svary (viz ČSN EN 1993-1-8)

návrhová hodnota síly rovnoběžné s osou svaru

návrhová hodnota síly kolmé na osu svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině rovnoběžné s osou svaru

návrhové normálové napětí ve svaru

návrhové smykové napětí v účinné rovině kolmé na osu svaru

návrhové normálové napětí kolmé na účinný rozměr svaru

výsledné napětí ve svaru

mezí dovolené výsledné napětí ve svaru

využití svaru

posudek 1 - podmínka na únosnost svaru

mezí dovolené normálové napětí kolmé na účinnou rovinu svaru

využití svaru

posudek 2 - podmínka na únosnost svaru

## 10.1.4 Posudek požární odolnosti

### Příčel

#### Metoda redukovaného průřezu - Výpočet redukovaného průřezu

	<b>R30</b>
$t$ [min]	30
$\beta_n$ [mm/min]	0,7
$d_{char,n}$ [mm]	21
$k_0$ [-]	1
$d_0$ [mm]	7
$d_{ef}$ [mm]	28

požadovaná požární odolnost

doba vystavení účinkům požáru

nominální rychlost zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů

nominální návrhová hloubka zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů

součinitel

tlouška materiálu s nulovou pevností a tuhostí

hloubka k okraji efektivního průřezu

#### Metoda redukovaného průřezu - Návrhové hodnoty mechanických vlastností při požáru

$\gamma_{M,fi}$ [-]	1
$k_{mod,fi}$ [-]	1
$f_{m,d,fi}$ [MPa]	32,20
$f_{t,d,fi}$ [MPa]	22,43
$f_{c,d,fi}$ [MPa]	30,48
$E_{fi}$ [MPa]	1,15

dílčí součinitel spolehlivosti dřeva pro požár

modifikační součinitel pro požár

návrhová pevnost v ohybu při požáru

návrhová pevnost v tahu při požáru

návrhová pevnost v tlaku při požáru

modul pružnosti v tahu a tlaku při požáru

### Metoda redukovanych vlastností - Výpočet redukovaneho průřezu

	<b>R30</b>
<b>t [min]</b>	30
<b><math>\beta_0</math> [mm/min]</b>	0,65
<b><math>\beta_n</math> [mm/min]</b>	0,7
<b><math>d_{char,0}</math> [mm]</b>	19,5
<b><math>d_{char,n}</math> [mm]</b>	21
<b><math>b_{min}</math> [mm]</b>	119

požadovaná požární odolnost  
doba vystavení účinkům požáru  
jednorozměrná rychlost zuhelnatění  
nominální rychlost zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů  
návrhová hloubka zuhelnatění pro jednorozměrné zuhelnatění  
nominální návrhová hloubka zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů  
nejmenší přípustná šířka průřezu pro jednorozměrnou rychlost zuhelnatění

### Metoda redukovanych vlastností - Návrhové hodnoty mechanických vlastností při požáru

<b>p [m]</b>	2,876
<b><math>A_r</math> [m<sup>2</sup>]</b>	0,215
<b><math>p/A_r</math> [m<sup>-1</sup>]</b>	13,39
<b><math>\gamma_{M,fi}</math> [-]</b>	1
<b><math>k_{mod,fi,m}</math> [-]</b>	0,93
<b><math>k_{mod,fi,c}</math> [-]</b>	0,89
<b><math>k_{mod,fi,t}</math> [-]</b>	0,96
<b><math>f_{m,d,fi}</math> [MPa]</b>	30,04
<b><math>f_{t,d,fi}</math> [MPa]</b>	21,51
<b><math>f_{c,d,fi}</math> [MPa]</b>	27,21
<b><math>E_{fi}</math> [MPa]</b>	11254

obvod zbytkového průřezu vystaveného požáru  
plocha zbytkového průřezu  
poměr vystaveného obvodu ku ploše zbytkového průřezu  
dílčí součinitel spolehlivosti dřeva pro požár  
modifikační součinitel pro požár (pevnost v ohybu)  
modifikační součinitel pro požár (pevnost v tlaku)  
modifikační součinitel pro požár (pevnost v tahu a modul pružnosti)  
návrhová pevnost v ohybu při požáru  
návrhová pevnost v tahu při požáru  
návrhová pevnost v tlaku při požáru  
modul pružnosti v tahu a tlaku při požáru

### Stanovení redukčního součinitele zatížení

<b><math>G_k</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	1,06
<b><math>Q_{k,1}</math> [kN/m<sup>2</sup>]</b>	0,82
<b><math>\gamma_G</math> [-]</b>	1,35
<b><math>\gamma_Q</math> [-]</b>	1,5
<b><math>\Psi_{fi}</math> [-]</b>	0,2
<b><math>\eta_{fi}</math> [-]</b>	0,46

charakteristická hodnota stálého zatížení  
charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení  
dílčí součinitel pro stálá zatížení  
dílčí součinitel pro proměnná zatížení  
součinitel pro časté hodnoty proměnných zatížení při požáru  
redukční součinitel zatížení při požáru

Posudek na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku při požáru

	MRP	MRV
$b_{fi}$ [mm]	144	158
$h_{fi}$ [mm]	1352	1359
$A_{fi}$ [mm <sup>2</sup> ]	194688	214722
$W_{y,fi}$ [mm <sup>3</sup> ]	43869696	48634533
$W_{z,fi}$ [mm <sup>3</sup> ]	4672512	5654346
$I_{y,fi}$ [mm <sup>4</sup> ]	29655914496	33047165174
$I_{z,fi}$ [mm <sup>4</sup> ]	336420864	446693334
$i_{y,fi}$ [mm]	390,29	392,31
$i_{z,fi}$ [mm]	41,57	45,61

horizontální rozměr při požáru  
 vertikální rozměr při požáru  
 plocha průřezu při požáru  
 modul průřezu k ose y při požáru  
 modul průřezu k ose z při požáru  
 moment setrvačnosti k ose y při požáru  
 moment setrvačnosti k ose z při požáru  
 poloměr setrvačnosti k ose y při požáru  
 poloměr setrvačnosti k ose z při požáru

$N_{Ed,fi}$ [kN]	-66,39	-66,39
$M_{Ed,y,fi}$ [kNm]	-316,19	-316,19
$\sigma_{c,d,fi}$ [MPa]	0,34	0,31
$\sigma_{m,y,d,fi}$ [MPa]	7,21	6,50
$L_{cr,y}$ [mm]	17353	17353
$L_{cr,z}$ [mm]	5064	5064
$\lambda_y$ [-]	44,46	44,23
$\lambda_z$ [-]	121,81	111,02
$\sigma_{c,crit,y}$ [MPa]	50,92	51,45
$\sigma_{c,crit,z}$ [MPa]	6,78	8,17
$\lambda_{rel,y}$ [-]	0,72	0,72
$\lambda_{rel,z}$ [-]	1,98	1,80
$\beta$ [-]	0,1	0,1
$k_y$ [-]	0,78	0,78
$k_{c,y}$ [-]	0,92	0,93
$k_z$ [-]	2,54	2,20
$k_{c,z}$ [-]	0,24	0,29
$L_{ef}$ [mm]	5064	5064
$\sigma_{m,crit}$ [MPa]	24,10	28,86
$\lambda_{rel,m}$ [-]	1,08	0,98
$k_{crit}$ [-]	0,75	0,82
$\frac{\sigma_{m,d,fi}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,fi}} + \frac{\sigma_{c,d,fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c,d,fi}} \leq 1$	30,99%	27,58%
	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{m,d,fi}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,fi}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,d,fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c,d,fi}} \leq 1$	13,49%	10,87%
	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly při požáru  
 návrhová hodnota ohybového momentu k ose y při pož.  
 návrhové napětí od tlakové síly rovnoběžně s vlákny  
 návrhové napětí od ohybového momentu  
 vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu y  
 vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu z  
 štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y  
 štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z  
 kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability  
 kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability  
 poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y  
 poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z  
 součinitel imperfekce  
 součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y  
 součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z  
 účinná délka při klopení  
 kritické napětí v ohybu při kterém dojde ke ztrátě stability  
 poměrná štíhlost v ohybu  
 součinitel klopení  
 využití průřezu  
 posudek - podmínka na kombinaci klopení a vzpěru  
 využití průřezu  
 posudek - podmínka na kombinaci klopení a vzpěru

## Stojka

### Metoda redukovaného průřezu - Výpočet redukovaného průřezu

	<b>R30</b>
<b>t [min]</b>	30
<b><math>\beta_n</math> [mm/min]</b>	0,7
<b><math>d_{char,n}</math> [mm]</b>	21
<b><math>k_0</math> [-]</b>	1
<b><math>d_0</math> [mm]</b>	7
<b><math>d_{ef}</math> [mm]</b>	28

požadovaná požární odolnost  
 doba vystavení účinkům požáru  
 nominální rychlost zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů  
 nominální návrhová hloubka zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů  
 součinitel  
 tlouška materiálu s nulovou pevností a tuhostí  
 hloubka k okraji efektivního průřezu

### Metoda redukovaného průřezu - Návrhové hodnoty mechanických vlastností při požáru

<b><math>\gamma_{M,fi}</math> [-]</b>	1
<b><math>k_{mod,fi}</math> [-]</b>	1
<b><math>f_{m,d,fi}</math> [MPa]</b>	32,20
<b><math>f_{t,d,fi}</math> [MPa]</b>	22,43
<b><math>f_{c,d,fi}</math> [MPa]</b>	30,48
<b><math>E_{fi}</math> [MPa]</b>	1,15

dílčí součinitel spolehlivosti dřeva pro požár  
 modifikační součinitel pro požár  
 návrhová pevnost v ohybu při požáru  
 návrhová pevnost v tahu při požáru  
 návrhová pevnost v tlaku při požáru  
 modul pružnosti v tahu a tlaku při požáru

### Metoda redukovaných vlastností - Výpočet redukovaného průřezu

	<b>R30</b>
<b>t [min]</b>	30
<b><math>\beta_0</math> [mm/min]</b>	0,65
<b><math>\beta_n</math> [mm/min]</b>	0,7
<b><math>d_{char,0}</math> [mm]</b>	19,5
<b><math>d_{char,n}</math> [mm]</b>	21
<b><math>b_{min}</math> [mm]</b>	119

požadovaná požární odolnost  
 doba vystavení účinkům požáru  
 jednorozměrná rychlost zuhelnatění  
 nominální rychlost zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů  
 návrhová hloubka zuhelnatění pro jednorozměrné zuhelnatění  
 nominální návrhová hloubka zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů  
 nejmenší přípustná šířka průřezu pro jednorozměrnou rychlost zuhelnatění

### Metoda redukovaných vlastností - Návrhové hodnoty mechanických vlastností při požáru

<b>p [m]</b>	2,876
<b><math>A_r</math> [m<sup>2</sup>]</b>	0,215
<b><math>p/A_r</math> [m<sup>-1</sup>]</b>	13,39
<b><math>\gamma_{M,fi}</math> [-]</b>	1
<b><math>k_{mod,fi,m}</math> [-]</b>	0,93
<b><math>k_{mod,fi,c}</math> [-]</b>	0,89
<b><math>k_{mod,fi,t}</math> [-]</b>	0,96
<b><math>f_{m,d,fi}</math> [MPa]</b>	30,04
<b><math>f_{t,d,fi}</math> [MPa]</b>	21,51
<b><math>f_{c,d,fi}</math> [MPa]</b>	27,21
<b><math>E_{fi}</math> [MPa]</b>	11254

obvod zbytkového průřezu vystaveného požáru  
 plocha zbytkového průřezu  
 poměr vystaveného obvodu ku ploše zbytkového průřezu  
 dílčí součinitel spolehlivosti dřeva pro požár  
 modifikační součinitel pro požár (pevnost v ohybu)  
 modifikační součinitel pro požár (pevnost v tlaku)  
 modifikační součinitel pro požár (pevnost v tahu a modul pružnosti)  
 návrhová pevnost v ohybu při požáru  
 návrhová pevnost v tahu při požáru  
 návrhová pevnost v tlaku při požáru  
 modul pružnosti v tahu a tlaku při požáru



### Stanovení redukčního součinitele zatížení

$G_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,06	charakteristická hodnota stálého zatížení
$Q_{k,1}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,82	charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
$\gamma_G$ [-]	1,35	dílčí součinitel pro stálá zatížení
$\gamma_Q$ [-]	1,5	dílčí součinitel pro proměnná zatížení
$\Psi_{fi}$ [-]	0,2	součinitel pro časté hodnoty proměnných zatížení při požáru
$\eta_{fi}$ [-]	0,46	redukční součinitel zatížení při požáru

### Posudek na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku při požáru

	MRP	MRV
$b_{fi}$ [mm]	144	158
$h_{fi}$ [mm]	1352	1359
$A_{fi}$ [mm <sup>2</sup> ]	194688	214722
$W_{y,fi}$ [mm <sup>3</sup> ]	43869696	48634533
$W_{z,fi}$ [mm <sup>3</sup> ]	4672512	5654346
$I_{y,fi}$ [mm <sup>4</sup> ]	29655914496	33047165174
$I_{z,fi}$ [mm <sup>4</sup> ]	336420864	446693334
$i_{y,fi}$ [mm]	390,29	392,31
$i_{z,fi}$ [mm]	41,57	45,61

horizontální rozměr při požáru  
vertikální rozměr při požáru  
plocha průřezu při požáru  
modul průřezu k ose y při požáru  
modul průřezu k ose z při požáru  
moment setrvačnosti k ose y při požáru  
moment setrvačnosti k ose z při požáru  
poloměr setrvačnosti k ose y při požáru  
poloměr setrvačnosti k ose z při požáru

$N_{Ed,fi}$ [kN]	-72,80	-72,80
$M_{Ed,y,fi}$ [kNm]	-316,19	-316,19
$\sigma_{c,d,fi}$ [MPa]	0,37	0,34
$\sigma_{m,y,d,fi}$ [MPa]	7,21	6,50
$L_{cr,y}$ [mm]	28145	28145
$L_{cr,z}$ [mm]	5760	5760
$\lambda_y$ [-]	72,11	71,74
$\lambda_z$ [-]	138,56	126,29
$\sigma_{c,crit,y}$ [MPa]	19,36	19,56
$\sigma_{c,crit,z}$ [MPa]	5,24	6,31
$\lambda_{rel,y}$ [-]	1,17	1,16
$\lambda_{rel,z}$ [-]	2,25	2,05
$\beta$ [-]	0,1	0,1
$k_y$ [-]	1,23	1,22
$k_{c,y}$ [-]	0,62	0,63
$k_z$ [-]	3,12	2,69
$k_{c,z}$ [-]	0,19	0,23
$L_{ef}$ [mm]	5760	5760
$\sigma_{m,crit}$ [MPa]	21,18	25,37
$\lambda_{rel,m}$ [-]	1,15	1,05
$k_{crit}$ [-]	0,70	0,77
$\frac{\sigma_{m,d,fi}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,fi}} + \frac{\sigma_{c,d,fi}}{k_{c,y} \cdot f_{c,d,fi}} \leq 1$	34,04%	30,01%
	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{m,d,fi}}{k_{crit} \cdot f_{m,d,fi}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,d,fi}}{k_{c,z} \cdot f_{c,d,fi}} \leq 1$	16,79%	13,37%
	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly při požáru  
návrhová hodnota ohybového momentu k ose y při pož.  
návrhové napětí od tlakové síly rovnoběžně s vlákny  
návrhové napětí od ohybového momentu  
vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu y  
vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu z  
štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y  
štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z  
kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability  
kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability  
poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y  
poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z  
součinitel imperfekce  
  
součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y  
  
součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z  
účinná délka při klopení  
kritické napětí v ohybu při kterém dojde ke ztrátě stability  
poměrná štíhlost v ohybu  
součinitel klopení  
využití průřezu  
posudek - podmínka na kombinaci klopení a vzpěru  
využití průřezu  
posudek - podmínka na kombinaci klopení a vzpěru

## Rozpěra

### Metoda redukovaného průřezu - Výpočet redukovaného průřezu

	<b>R30</b>
<b>t [min]</b>	30
<b><math>\beta_n</math> [mm/min]</b>	0,7
<b><math>d_{char,n}</math> [mm]</b>	21
<b><math>k_0</math> [-]</b>	1
<b><math>d_0</math> [mm]</b>	7
<b><math>d_{ef}</math> [mm]</b>	28

požadovaná požární odolnost  
 doba vystavení účinkům požáru  
 nominální rychlost zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů  
 nominální návrhová hloubka zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů  
 součinitel  
 tlouška materiálu s nulovou pevností a tuhostí  
 hloubka k okraji efektivního průřezu

### Metoda redukovaného průřezu - Návrhové hodnoty mechanických vlastností při požáru

<b><math>\gamma_{M,fi}</math> [-]</b>	1
<b><math>k_{mod,fi}</math> [-]</b>	1
<b><math>f_{m,d,fi}</math> [MPa]</b>	27,60
<b><math>f_{t,d,fi}</math> [MPa]</b>	18,98
<b><math>f_{c,d,fi}</math> [MPa]</b>	27,60
<b><math>E_{fi}</math> [MPa]</b>	1,15

dílčí součinitel spolehlivosti dřeva pro požár  
 modifikační součinitel pro požár  
 návrhová pevnost v ohybu při požáru  
 návrhová pevnost v tahu při požáru  
 návrhová pevnost v tlaku při požáru  
 modul pružnosti v tahu a tlaku při požáru

### Metoda redukovaných vlastností - Výpočet redukovaného průřezu

	<b>R30</b>
<b>t [min]</b>	30
<b><math>\beta_0</math> [mm/min]</b>	0,65
<b><math>\beta_n</math> [mm/min]</b>	0,7
<b><math>d_{char,0}</math> [mm]</b>	19,5
<b><math>d_{char,n}</math> [mm]</b>	21
<b><math>b_{min}</math> [mm]</b>	119

požadovaná požární odolnost  
 doba vystavení účinkům požáru  
 jednorozměrná rychlost zuhelnatění  
 nominální rychlost zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů  
 návrhová hloubka zuhelnatění pro jednorozměrné zuhelnatění  
 nominální návrhová hloubka zuhelnatění s uvažováním zaoblení rohů  
 nejmenší přípustná šířka průřezu pro jednorozměrnou rychlost zuhelnatění

### Metoda redukovaných vlastností - Návrhové hodnoty mechanických vlastností při požáru

<b>p [m]</b>	0,432
<b><math>A_r</math> [m<sup>2</sup>]</b>	0,012
<b><math>p/A_r</math> [m<sup>-1</sup>]</b>	37,36
<b><math>\gamma_{M,fi}</math> [-]</b>	1
<b><math>k_{mod,fi,m}</math> [-]</b>	0,81
<b><math>k_{mod,fi,c}</math> [-]</b>	0,70
<b><math>k_{mod,fi,t}</math> [-]</b>	0,89
<b><math>f_{m,d,fi}</math> [MPa]</b>	22,44
<b><math>f_{t,d,fi}</math> [MPa]</b>	16,83
<b><math>f_{c,d,fi}</math> [MPa]</b>	19,35
<b><math>E_{fi}</math> [MPa]</b>	9586

obvod zbytkového průřezu vystaveného požáru  
 plocha zbytkového průřezu  
 poměr vystaveného obvodu ku ploše zbytkového průřezu  
 dílčí součinitel spolehlivosti dřeva pro požár  
 modifikační součinitel pro požár (pevnost v ohybu)  
 modifikační součinitel pro požár (pevnost v tlaku)  
 modifikační součinitel pro požár (pevnost v tahu a modul pružnosti)  
 návrhová pevnost v ohybu při požáru  
 návrhová pevnost v tahu při požáru  
 návrhová pevnost v tlaku při požáru  
 modul pružnosti v tahu a tlaku při požáru

#### Stanovení redukčního součinitele zatížení

$G_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,06
$Q_{k,I}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,82
$\gamma_G$ [-]	1,35
$\gamma_Q$ [-]	1,5
$\Psi_{fi}$ [-]	0,2
$\eta_{fi}$ [-]	0,46

charakteristická hodnota stálého zatížení

charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení

dílčí součinitel pro stálá zatížení

dílčí součinitel pro proměnná zatížení

součinitel pro časté hodnoty proměnných zatížení při požáru

redukční součinitel zatížení při požáru

#### Posudek na vzpěrný tlak při požáru

	MRP	MRV
$b_{fi}$ [mm]	84	98
$h_{fi}$ [mm]	104	118
$A_{fi}$ [mm <sup>2</sup> ]	8736	11564
$W_{y,fi}$ [mm <sup>3</sup> ]	151424	227425
$W_{z,fi}$ [mm <sup>3</sup> ]	122304	188879
$I_{y,fi}$ [mm <sup>4</sup> ]	7874048	13418095
$I_{z,fi}$ [mm <sup>4</sup> ]	5136768	9255055
$i_{y,fi}$ [mm]	30,02	34,06
$i_{z,fi}$ [mm]	24,25	28,29

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

$N_{Ed,fi}$ [kN]	-16,76	-16,76
$\sigma_{c,d,fi}$ [MPa]	1,92	1,45
$L_{cr,y}$ [mm]	5000	5000
$L_{cr,z}$ [mm]	5000	5000
$\lambda_y$ [-]	166,54	146,78
$\lambda_z$ [-]	206,20	176,74
$\sigma_{c,crit,y}$ [MPa]	3,34	4,31
$\sigma_{c,crit,z}$ [MPa]	2,18	2,97
$\lambda_{rel,y}$ [-]	2,68	2,36
$\lambda_{rel,z}$ [-]	3,32	2,84
$\beta$ [-]	0,1	0,1
$k_y$ [-]	4,21	3,39
$k_{c,y}$ [-]	0,13	0,17
$k_z$ [-]	6,15	4,67
$k_{c,z}$ [-]	0,09	0,12
$\sigma_{c,d,fi} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,d,fi}$	51,78%	43,60%
	VYHOVUJE	VYHOVUJE
$\sigma_{c,d,fi} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,d,fi}$	78,75%	62,68%
	VYHOVUJE	VYHOVUJE

návrhová hodnota tlakové síly při požáru

návrhové napětí od tlakové síly rovnoběžně s vlákny

vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu y

vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu z

štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y

štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z

kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability

kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability

poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y

poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z

součinitel imperfekce

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak při požáru

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak při požáru

## Ztužidlo

### Materiálové, fyzikální a průřezové charakteristiky - táhlo

	<b>RD15</b>	profil
	<b>S460</b>	konstrukční ocel
$f_y$ [MPa]	460	mez kluzu
$f_u$ [MPa]	610	mez pevnosti
$\gamma_{M,fi}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti při požáru
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$G$ [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
$g$ [kg/m]	1,39	hmotnost nosníku
$c_a$ [J/kg/K]	600	měrné teplo
$r_a$ [kg/m <sup>3</sup> ]	7850	měrná hmotnost
$d$ [mm]	15	průměr
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	176,7	plocha průřezu
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	2485	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	2485	moment setrvačnosti k ose z
$i_y$ [mm]	3,75	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	3,75	poloměr setrvačnosti k ose z

### Materiálové, fyzikální charakteristiky - protipožární nátěr

$d_p$ [m]	0,01	tloušťka požárně ochranného materiálu
$c_p$ [J/kg/K]	1200	měrné teplo požárně ochranného materiálu
$r_p$ [kg/m <sup>3</sup> ]	100	měrná hmotnost požárně ochranného materiálu
$l_p$ [W/m/K]	0,12	tepelná vodivost požárně ochranného materiálu

### Charakteristiky profilu pro požární situaci

$A_p$ [m <sup>2</sup> /m]	0,047124	plocha vnitřního povrchu požárně ochranného materiálu na jednotku délky
$V$ [m <sup>3</sup> /m]	0,000177	objem části ocelového průřezu na jednotku délky
$A_p/V$ [m <sup>-1</sup> ]	266,7	průřezový poměr části ocelového průřezu
$\phi$ [-]	0,068	součinitel

### Stanovení teploty v oceli

t [s]	t [min]	$\Theta_{g,t}$ [°C]	$\Delta\Theta_{a,t}$ [°C]	$\Theta_{a,t}$ [°C]
0	0,0	20,0	0,0	20
30	0,5	261,1	3,2	23,2
60	1,0	349,2	5,9	29,1
90	1,5	404,3	7,1	36,2
120	2,0	444,5	7,9	44,0
150	2,5	476,2	8,4	52,4
180	3,0	502,3	8,8	61,2
210	3,5	524,5	9,1	70,3
240	4,0	543,9	9,3	79,6
270	4,5	561,0	9,5	89,1
300	5,0	576,4	9,6	98,7
1500	25,0	814,6	7,3	453,9
1530	25,5	817,6	7,2	461,1
1560	26,0	820,5	7,1	468,2
1590	26,5	823,3	7,1	475,3
1620	27,0	826,1	7,0	482,3
1650	27,5	828,8	6,9	489,2
1680	28,0	831,5	6,8	496,0
1710	28,5	834,1	6,7	502,7
1740	29,0	836,7	6,6	509,3
1770	29,5	839,3	6,6	515,9
1800	30,0	841,8	6,5	522,4

### Stanovení redukčního součinitele zatížení

$G_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,06	charakteristická hodnota stálého zatížení
$Q_{k,1}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,82	charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
$\gamma_G$ [-]	1,35	dílčí součinitel pro stálá zatížení
$\gamma_Q$ [-]	1,5	dílčí součinitel pro proměnná zatížení
$\Psi_{fi}$ [-]	0,2	součinitel pro časté hodnoty proměnných zatížení při požáru
$\eta_{fi}$ [-]	0,46	redukční součinitel zatížení při požáru

### Posudek na tah při požáru

$k_{y,\Theta}$ [-]	0,71	redukční součinitel meze kluzu
$N_{Ed,fi}$ [kN]	16,24	návrhová hodnota tahové síly při požáru
$N_{Rd,fi}$ [kN]	57,71	únosnost v tahu
$N_{Ed,fi} / N_{Rd,fi}$	28,14%	využití průřezu
$N_{Rd,fi} \geq N_{Ed,fi}$	<b>VYHOVUJE</b>	posudek - podmínka na tahovou únosnost

## 10.2 Varianta B

### 10.2.1 Výpočet zatížení

#### Stálé zatížení

	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_k$ [kN/m]
Opláštění	0,25	0,63
Vzduchotechnika	0,15	0,38
Elektroinstalace	0,05	0,13
Osvětlení	0,10	0,25
Ztužení	0,20	0,50
		<b>1,88</b>

#### Užitné zatížení

	<b>H</b>
$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,75

kategorie střechy

charakteristická hodnota užitného zatížení

#### Zatížení sněhem

$s_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,03
$C_e$ [-]	1,00
$C_t$ [-]	1,00
$\mu_1$ [-]	0,80
$s_{k,1}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,82
$s_{k,2}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,41

charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

součinitel expozice

tepelný součinitel

tvárový součinitel

charakteristická hodnota zatížení pro uspořádání nenavátým sněhem

charakteristická hodnota zatížení pro uspořádání navátým sněhem

#### Zatížení větrem

##### Základní hodnoty

$v_{b,0}$ [m/s]	25,00
$c_{dir}$ [-]	1,00
$c_{season}$ [-]	1,00
$v_b$ [m/s]	25,00

výchozí základní rychlost větru

součinitel směru větru

součinitel ročního období

základní rychlost větru

### Střední rychlost větru

$h$ [m]	9,50	celková výška objektu
$z_e$ [m]	9,50	referenční výška pro vnější tlak
$z_i$ [m]	9,50	referenční výška pro vnitřní tlak
$z_0$ [m]	0,05	parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$ [m]	0,05	parametr drsnosti terénu (kategorie II)
$z_{min}$ [m]	2,00	minimální výška
$z$ [m]	9,50	výška pro výpočet
$k_r$ [-]	0,19	součinitel terénu
$c_r(z)$ [-]	1,00	součinitel drsnosti terénu
$c_o(z)$ [-]	1,00	součinitel ortografie
$v_m(z)$ [m/s]	24,92	charakteristická střední rychlost větru

### Turbulence větru a maximální dynamický tlak

$k_I$ [-]	1,00	součinitel turbulence
$I_v(z)$ [-]	0,19	intenzita turbulence
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,25	hustota vzduchu
$q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,91	charakteristický maximální dynamický tlak

## a) Sedlové střechy

### Součinitelé vnějšího tlaku - příčný vítr

$h$ [m]	9,5	celková výška objektu
$b$ [m]	65,00	rozměr kolmý na směr proudění
$d$ [m]	27,00	rozměr rovnoběžný se směrem proudění
$e$ [m]	19	rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení
$e/10$ [m]	1,9	
$e/4$ [m]	4,75	
	<b>POUŽIJ <math>C_{pe,10}</math></b>	volba součinitelů vnějších tlaků
$C_{pe}^{F-}$ [-]	-1,37	hodnota součinitele tlaku pro oblast F
$C_{pe}^{G-}$ [-]	-1,04	hodnota součinitele tlaku pro oblast G
$C_{pe}^{H-}$ [-]	-0,48	hodnota součinitele tlaku pro oblast H
$C_{pe}^{I-}$ [-]	-0,52	hodnota součinitele tlaku pro oblast I
$C_{pe}^{J-}$ [-]	0,08	hodnota součinitele tlaku pro oblast J
$C_{pe}^{F+}$ [-]	0,08	hodnota součinitele tlaku pro oblast F
$C_{pe}^{G+}$ [-]	0,08	hodnota součinitele tlaku pro oblast G
$C_{pe}^{H+}$ [-]	0,08	hodnota součinitele tlaku pro oblast H
$C_{pe}^{I+}$ [-]	-0,35	hodnota součinitele tlaku pro oblast I
$C_{pe}^{J+}$ [-]	-0,35	hodnota součinitele tlaku pro oblast J

### Součinitelé vnějšího tlaku - podélný vítr

$h$ [m]	9,5
$b$ [m]	27,00
$d$ [m]	65,00
$e$ [m]	19
$e/10$ [m]	1,9
$e/4$ [m]	4,75
$e/2$ [m]	9,5
	<b>POUŽIJ <math>C_{pe,10}</math></b>
$C_{pe}^F$ [-]	-1,48
$C_{pe}^G$ [-]	-1,3
$C_{pe}^H$ [-]	-0,66
$C_{pe}^I$ [-]	-0,56

celková výška objektu

rozměr kolmý na směr proudění

rozměr rovnoběžný se směrem proudění

rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení

volba součinitelů vnějších tlaků

hodnota součinitele tlaku pro oblast F

hodnota součinitele tlaku pro oblast G

hodnota součinitele tlaku pro oblast H

hodnota součinitele tlaku pro oblast I

### Součinitelé vnitřního tlaku

$C_{pi}^+$ [-]	0,2
$C_{pi}^-$ [-]	-0,3

hodnota součinitele tlaku (přetlak)

hodnota součinitele tlaku (podtlak)

### Výsledné tlaky - příčný vítr $C_{pi}^+ = +0,2$

$w_k^F$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,42
$w_k^G$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,12
$w_k^H$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,62
$w_k^I$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,65
$w_k^J$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,11
$w_k^{F+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,11
$w_k^{G+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,11
$w_k^{H+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,11
$w_k^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,50
$w_k^{J+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,50

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast J

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast J

### Výsledné tlaky - příčný vítr $C_{pi}^- = -0,3$

$w_k^F$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,97
$w_k^G$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,67
$w_k^H$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,16
$w_k^I$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,20
$w_k^J$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,34
$w_k^{F+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,34
$w_k^{G+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,34
$w_k^{H+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,34
$w_k^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,05
$w_k^{J+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,05

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast J

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast J



### Výsledné tlaky - podélný vítr $C_{pi}^+ = +0,2$

$w_{-k}^F$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,52
$w_{-k}^G$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,36
$w_{-k}^H$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,78
$w_{-k}^I$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,69

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F  
charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G  
charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H  
charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

## b) Svislé stěny

### Součinitelé vnějšího tlaku - příčný vítr

h [m]	9,50
b [m]	65,00
d [m]	27,00
e [m]	19,00
e/5 [m]	3,80
4/5 e [m]	15,20
d-e [m]	8,00
h/d [-]	0,35
$C_{pe}^{A-}$ [-]	-1,20
$C_{pe}^{B-}$ [-]	-0,80
$C_{pe}^{C-}$ [-]	-0,50
$C_{pe}^{D+}$ [-]	0,72
$C_{pe}^{E-}$ [-]	-0,33

výška stěny rovnoběžné se směrem proudění  
rozměr kolmý na směr proudění  
rozměr rovnoběžný se směrem proudění  
rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení

hodnota součinitele tlaku pro oblast A  
hodnota součinitele tlaku pro oblast B  
hodnota součinitele tlaku pro oblast C  
hodnota součinitele tlaku pro oblast D  
hodnota součinitele tlaku pro oblast E

### Součinitelé vnějšího tlaku - podélný vítr

h [m]	7,30
b [m]	27,00
d [m]	65,00
e [m]	14,60
e/5 [m]	2,92
4/5 e [m]	11,68
d-e [m]	50,40
h/d [-]	0,11
$C_{pe}^{A-}$ [-]	-1,20
$C_{pe}^{B-}$ [-]	-0,80
$C_{pe}^{C-}$ [-]	-0,50
$C_{pe}^{D+}$ [-]	0,70
$C_{pe}^{E-}$ [-]	-0,30

výška stěny rovnoběžné se směrem proudění  
rozměr kolmý na směr proudění  
rozměr rovnoběžný se směrem proudění  
rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení

volba součinitelů vnějších tlaků  
hodnota součinitele tlaku pro oblast A  
hodnota součinitele tlaku pro oblast B  
hodnota součinitele tlaku pro oblast C  
hodnota součinitele tlaku pro oblast D  
hodnota součinitele tlaku pro oblast E

### Součinitelé vnitřního tlaku

$C_{pi}^+$ [-]	0,20
$C_{pi}^-$ [-]	-0,30

hodnota součinitele tlaku (přetlak)  
hodnota součinitele tlaku (podtlak)

**Výsledné tlaky - příčný vítr  $C_{pi}^+ = +0,2$** 

$w_{-k}^A$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,27
$w_{-k}^B$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,91
$w_{-k}^C$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,63
$w_{-k}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,47
$w_{-k}^E$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,48

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

**Výsledné tlaky - příčný vítr  $C_{pi}^- = -0,3$** 

$w_{-k}^A$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,82
$w_{-k}^B$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,45
$w_{-k}^C$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,18
$w_{-k}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,92
$w_{-k}^E$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,03

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

**Výsledné tlaky - podélný vítr  $C_{pi}^+ = +0,2$** 

$w_{-k}^A$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,27
$w_{-k}^B$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,91
$w_{-k}^C$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,63
$w_{-k}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,45
$w_{-k}^E$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,45

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

**Výsledné tlaky - podélný vítr  $C_{pi}^- = -0,3$** 

$w_{-k}^A$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,82
$w_{-k}^B$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,45
$w_{-k}^C$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,18
$w_{-k}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,91
$w_{-k}^E$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

## 10.2.2 Posudek prvků

### Horní pás

#### Posudek na vzpěrný tlak

$b$ [mm]	100
$h$ [mm]	180
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	18000
$W_y$ [mm <sup>3</sup> ]	540000
$W_z$ [mm <sup>3</sup> ]	300000
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	48600000
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	15000000
$i_y$ [mm]	51,96
$i_z$ [mm]	28,87

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

$N_{Ed}$ [kN]	-98,9
$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	5,49
$L_{cr,y}$ [mm]	1903
$L_{cr,z}$ [mm]	1903
$\lambda_y$ [-]	36,62
$\lambda_z$ [-]	65,92
$\sigma_{c,crit,y}$ [MPa]	58,87
$\sigma_{c,crit,z}$ [MPa]	18,17
$\lambda_{rel,y}$ [-]	0,61
$\lambda_{rel,z}$ [-]	1,10
$\beta$ [-]	0,2
$k_y$ [-]	0,72
$k_{c,y}$ [-]	0,91
$k_z$ [-]	1,19
$k_{c,z}$ [-]	0,61
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$	39,49%
	<b>VYHOVUJE</b>
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$	58,67%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu y

vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu z

štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y

štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z

kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability

kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability

poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y

poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z

součinitel imperfekce

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

## Dolní pás

### Posudek na vzpěrný tlak

b [mm]	100
h [mm]	220
A [mm <sup>2</sup> ]	22000
W <sub>y</sub> [mm <sup>3</sup> ]	806667
W <sub>z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	366667
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	88733333
I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	18333333
i <sub>y</sub> [mm]	63,51
i <sub>z</sub> [mm]	28,87

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

N <sub>Ed</sub> [kN]	-58
σ <sub>c,0,d</sub> [MPa]	2,64
k <sub>c,y</sub> [-]	0,69
k <sub>c,z</sub> [-]	0,19
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$	25,13%
	<b>VYHOVUJE</b>
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$	91,99%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

## Svislá stojka

### Posudek na vzpěrný tlak

b [mm]	100
h [mm]	140
A [mm <sup>2</sup> ]	14000
W <sub>y</sub> [mm <sup>3</sup> ]	326667
W <sub>z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	233333
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	22866667
I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	11666667
i <sub>y</sub> [mm]	40,41
i <sub>z</sub> [mm]	28,87

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

N <sub>Ed</sub> [kN]	-25,7
σ <sub>c,0,d</sub> [MPa]	1,84
k <sub>c,y</sub> [-]	0,67
k <sub>c,z</sub> [-]	0,40
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$	18,12%
	<b>VYHOVUJE</b>
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$	29,82%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

## Šikmá stojka

### Posudek na vzpěrný tlak

$b$ [mm]	100
$h$ [mm]	180
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	18000
$W_y$ [mm <sup>3</sup> ]	540000
$W_z$ [mm <sup>3</sup> ]	300000
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	48600000
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	15000000
$i_y$ [mm]	51,96
$i_z$ [mm]	28,87

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

$N_{Ed}$ [kN]	-135,8
$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	7,54
$k_{c,y}$ [-]	0,91
$k_{c,z}$ [-]	0,59
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$	54,67%
	<b>VYHOVUJE</b>
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$	84,11%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

## Diagonály 1, 4

### Posudek na vzpěrný tlak

$b$ [mm]	100
$h$ [mm]	160
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	16000
$W_y$ [mm <sup>3</sup> ]	426667
$W_z$ [mm <sup>3</sup> ]	266667
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	34133333
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	13333333
$i_y$ [mm]	46,19
$i_z$ [mm]	28,87

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

$N_{Ed}$ [kN]	-61,9
$\sigma_{c,0,d}$ [MPa]	3,87
$k_{c,y}$ [-]	0,60
$k_{c,z}$ [-]	0,28
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$	42,07%
	<b>VYHOVUJE</b>
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$	91,38%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

## Diagonála 2

### Posudek na vzpěrný tlak

b [mm]	100
h [mm]	250
A [mm <sup>2</sup> ]	25000
W <sub>y</sub> [mm <sup>3</sup> ]	1041667
W <sub>z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	416667
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	130208333
I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	20833333
i <sub>y</sub> [mm]	72,17
i <sub>z</sub> [mm]	28,87

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

N <sub>Ed</sub> [kN]	-88,3
σ <sub>c,0,d</sub> [MPa]	3,53
k <sub>c,y</sub> [-]	0,84
k <sub>c,z</sub> [-]	0,24
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$	27,73%
	<b>VYHOVUJE</b>
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$	98,24%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

## Diagonály 3, 5, 6, 7 a svislice

### Posudek na vzpěrný tlak

b [mm]	100
h [mm]	100
A [mm <sup>2</sup> ]	10000
W <sub>y</sub> [mm <sup>3</sup> ]	166667
W <sub>z</sub> [mm <sup>3</sup> ]	166667
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	8333333
I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	8333333
i <sub>y</sub> [mm]	28,87
i <sub>z</sub> [mm]	28,87

horizontální rozměr

vertikální rozměr

plocha průřezu

modul průřezu k ose y

modul průřezu k ose z

moment setrvačnosti k ose y

moment setrvačnosti k ose z

poloměr setrvačnosti k ose y

poloměr setrvačnosti k ose z

N <sub>Ed</sub> [kN]	-23,8
σ <sub>c,0,d</sub> [MPa]	2,38
k <sub>c,y</sub> [-]	0,24
k <sub>c,z</sub> [-]	0,24
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$	66,19%
	<b>VYHOVUJE</b>
$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}$	66,19%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly

návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y

součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

využití průřezu

posudek - podmínka na vzpěrný tlak

## 10.3 Varianta C

### 10.3.1 Výpočet zatížení

#### Stálé zatížení

	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_k$ [kN/m]
Opláštění	0,25	1,25
Vzduchotechnika	0,15	0,75
Elektroinstalace	0,05	0,25
Osvětlení	0,10	0,5
Vaznice		0,26
Rozpěry		0,33
		<b>3,34</b>

#### Užitné zatížení

	<b>H</b>
$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,75

kategorie střechy

charakteristická hodnota užitného zatížení

#### Zatížení sněhem

$s_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,03
$C_e$ [-]	1,00
$C_t$ [-]	1,00
$\mu$ [-]	0,80
$\mu_3$ [-]	2,00
$s_{k,i}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,82
$s_{k,ii,1}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,06
$s_{k,ii,2}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,03

charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

součinitel expozice

tepelný součinitel

tvarový součinitel

tvarový součinitel

charakteristická hodnota zatížení pro uspořádání nenavátým sněhem

charakteristická hodnota zatížení pro uspořádání navátým sněhem (větší)

charakteristická hodnota zatížení pro uspořádání navátým sněhem (menší)

#### Zatížení větrem

##### Základní hodnoty

$v_{b,0}$ [m/s]	25,00
$c_{dir}$ [-]	1,00
$c_{season}$ [-]	1,00
$v_b$ [m/s]	25,00

výchozí základní rychlost větru

součinitel směru větru

součinitel ročního období

základní rychlost větru

### Střední rychlost větru

$h$ [m]	9,50	celková výška objektu
$z_e$ [m]	9,50	referenční výška pro vnější tlak
$z_i$ [m]	9,50	referenční výška pro vnitřní tlak
$z_0$ [m]	0,05	parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$ [m]	0,05	parametr drsnosti terénu (kategorie II)
$z_{min}$ [m]	2,00	minimální výška
$z$ [m]	9,50	výška pro výpočet
$k_r$ [-]	0,19	součinitel terénu
$c_r(z)$ [-]	1,00	součinitel drsnosti terénu
$c_o(z)$ [-]	1,00	součinitel ortografie (většinou 1)
$v_m(z)$ [m/s]	24,92	charakteristická střední rychlost větru

### Turbulence větru a maximální dynamický tlak

$k_I$ [-]	1,00	součinitel turbulence
$I_v(z)$ [-]	0,19	intenzita turbulence
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,25	hustota vzduchu
$q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,91	charakteristický maximální dynamický tlak

## a) Klenbové střechy a kopule

### Součinitelé vnějšího tlaku - příčný vítr

$h$ [m]	0	výška svislé stěny objektu
$f$ [m]	9,00	vzepětí klenby
$d$ [m]	35,00	rozpětí klenby
$h/d$ [-]	0,00	poměr výšky svislé stěny objektu ku rozpětí klenby
$f/d$ [-]	0,26	poměr vzepětí ku rozpětí klenby
$C_{pe}^A$ [-]	0	hodnota součinitele tlaku pro oblast A
$C_{pe}^B$ [-]	-0,96	hodnota součinitele tlaku pro oblast B
$C_{pe}^C$ [-]	-0,4	hodnota součinitele tlaku pro oblast C
$C_{pe}^{A+}$ [-]	0,4	hodnota součinitele tlaku pro oblast A

### Součinitelé vnitřního tlaku

$C_{pi}^+$ [-]	0,2	hodnota součinitele tlaku (přetlak)
$C_{pi}$ [-]	-0,3	hodnota součinitele tlaku (podtlak)

### Výsledné tlaky - příčný vítr $C_{pi}^+ = +0,2$

$w_k^{A-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,18	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A
$w_k^{B-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,05	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B
$w_k^{C-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,54	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C
$w_k^{A+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,18	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D



### Výsledné tlaky - příčný vítr $C_{pi} = -0,3$

$w_{-k}^A$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,27
$w_{-k}^B$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,60
$w_{-k}^C$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,09
$w_{-k}^A$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,63

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C

charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D

## 10.3.2 Posudek prvku

### Určení vzpěrných délek

L [m]	25
h [mm]	9000
s [mm]	20350
$l_{eff}$ [mm]	25438

rozpětí oblouku

vzepětí oblouku

délka poloviny oblouku

vzpěrná délka pro vybočení z roviny příčné vazby

### Posudek na smyk

b [mm]	200
h [mm]	800
$k_{cr}$ [-]	0,67
A [mm <sup>2</sup> ]	107200

horizontální rozměr

vertikální rozměr

součinitel vlivu trhlin

plocha průřezu

$V_{Ed}$ [kN]	-45,90
$\tau_d$ [MPa]	0,64
$\tau_d \leq f_{v,d}$	27,88%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota posouvající síly

smykové napětí od posouvající síly

využití průřezu

posudek - podmínka na smykovou únosnost

### Vliv zakřivení a tloušťky lamel na ohybovou únosnost

b [mm]	200
$h_{ap}$ [mm]	800
t [mm]	40
$\alpha_{ap}$ [°]	0
$r_{in}$ [mm]	19200
r [mm]	19600
$r_{in} / t$	480
$k_1$ [-]	1,000
$k_2$ [-]	0,350
$k_3$ [-]	0,600
$k_4$ [-]	0,000
$k_l$ [-]	1,015
$k_r$ [-]	1

horizontální rozměr

vertikální rozměr

tloušťka lamel

úhel sklonu náběhu ve vrcholové části

vnitřní poloměr zakřivení

střední poloměr zakřivení

součinitel

součinitel

součinitel

součinitel

součinitel zakřivení

součinitel snížení pevnosti způsobené ohybem lamel během výroby

# Posudek na kombinaci ohybu s vlivem klopení a vzpěrného tlaku

<b>b [mm]</b>	200
<b>h [mm]</b>	800
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	160000
<b>W<sub>y</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	21333333
<b>W<sub>z</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	53333333
<b>I<sub>y</sub> [mm<sup>4</sup>]</b>	853333333
<b>I<sub>z</sub> [mm<sup>4</sup>]</b>	533333333
<b>i<sub>y</sub> [mm]</b>	230,94
<b>i<sub>z</sub> [mm]</b>	57,74

horizontální rozměr  
vertikální rozměr  
plocha průřezu  
modul průřezu k ose y  
modul průřezu k ose z  
moment setrvačnosti k ose y  
moment setrvačnosti k ose z  
poloměr setrvačnosti k ose y  
poloměr setrvačnosti k ose z

<b>N<sub>Ed</sub> [kN]</b>	-182,7
<b>M<sub>Ed,y</sub> [kNm]</b>	251,9
<b>σ<sub>c,0,d</sub> [MPa]</b>	1,14
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	11,81
<b>L<sub>cr,y</sub> [mm]</b>	25438
<b>L<sub>cr,z</sub> [mm]</b>	2000
<b>λ<sub>y</sub> [-]</b>	110,15
<b>λ<sub>z</sub> [-]</b>	34,64
<b>σ<sub>c,crit,y</sub> [MPa]</b>	8,30
<b>σ<sub>c,crit,z</sub> [MPa]</b>	83,89
<b>λ<sub>rel,y</sub> [-]</b>	1,79
<b>λ<sub>rel,z</sub> [-]</b>	0,56
<b>β [-]</b>	0,1
<b>k<sub>y</sub> [-]</b>	2,17
<b>k<sub>c,y</sub> [-]</b>	0,29
<b>k<sub>z</sub> [-]</b>	0,67
<b>k<sub>c,z</sub> [-]</b>	0,96
<b>L<sub>ef</sub> [mm]</b>	5000
<b>σ<sub>m,crit</sub> [MPa]</b>	79,56
<b>λ<sub>rel,m</sub> [-]</b>	0,59
<b>k<sub>crit</sub> [-]</b>	1,00
$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$	78,94%
	<b>VYHOVUJE</b>
$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$	40,52%
	<b>VYHOVUJE</b>

návrhová hodnota tlakové síly  
návrhová hodnota ohybového momentu k ose y  
návrhové napětí od tlakové síly ve směru rovnoběžně s vlákny  
návrhové napětí od ohybového momentu  
vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu y  
vzpěrná délka pro vybočení kolmo na osu z  
štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y  
štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z  
kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability  
kritické napětí při kterém dojde ke ztrátě stability  
poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu y  
poměrná štíhlost odpovídající vybočení kolmo na osu z  
součinitel imperfekce  
  
součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu y  
  
součinitel vzpěrnosti pro vybočení kolmo na osu z  
účinná délka při klopení  
kritické napětí v ohybu při kterém dojde ke ztrátě stability  
poměrná štíhlost v ohybu  
soočinitel klopení  
využití průřezu  
posudek - podmínka na kombinaci klopení a vzpěrného tlaku  
využití průřezu  
posudek - podmínka na kombinaci klopení a vzpěrného tlaku

**Posudek na roztržení tahem kolmo k vláknům**

	LLD nebo LVL
	VYKLENUTÝ
<b>b [mm]</b>	200
<b>h<sub>ap</sub> [mm]</b>	800
<b>α<sub>ap</sub> [°]</b>	0
<b>r<sub>in</sub> [mm]</b>	22800
<b>r [mm]</b>	23200
<b>V<sub>0</sub> [m<sup>3</sup>]</b>	0,01
<b>V [m<sup>3</sup>]</b>	2,171
<b>k<sub>vol</sub> [-]</b>	0,341
<b>k<sub>dis</sub> [-]</b>	1,7
<b>k<sub>5</sub> [-]</b>	0,000
<b>k<sub>6</sub> [-]</b>	0,250
<b>k<sub>7</sub> [-]</b>	0,000
<b>k<sub>p</sub> [-]</b>	0,009
<b>σ<sub>m,y,d</sub> [MPa]</b>	11,81
<b>σ<sub>t,90,d</sub> [MPa]</b>	0,10
<b>σ<sub>t,90,d</sub> ≤ k<sub>dis</sub> · k<sub>vol</sub> · f<sub>t,90,d</sub></b>	54,20%
	<b>VYHOVUJE</b>

dřevo

typ nosníku

horizontální rozměr

vertikální rozměr

úhel sklonu náběhu ve vrcholové části

vnitřní poloměr zakřivení

střední poloměr zakřivení

referenční objem

namáhaný objem vrcholové oblasti

součinitel objemu

součinitel zohledňující účinek rozdělení napětí ve vrcholové oblasti

součinitel

součinitel

součinitel

součinitel zakřivení

návrhové napětí od ohybového momentu

návrhové tahové napětí od ohybového momentu

využití průřezu

posudek - podmínka na tah kolmo k vláknům

## 11 ZÁVĚR

Tuto diplomovou práci mi zadal můj vedoucí doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D. Jak již bylo zmíněno v úvodu práce, cílem bylo navrhnout jednoduchou výrobní halu ze dřeva s přihlédnutím k dispozičním a zejména statickým požadavkům. Přitom byl kladen důraz na bezpečný návrh konstrukce a proveditelnost detailů.

Velkým přínosem pro mě bylo, že jsem měl tu možnost hlouběji se seznámit s normami o navrhování dřevěných konstrukcí, zejména navrhování na účinky požáru. Kromě norem o navrhování dřevěných konstrukcí byly použity i normy zabývající se návrhem betonových a ocelových konstrukcí, což dokazuje to, jak spolu ve stavební praxi jednotlivé normy o navrhování konstrukcí (tzv. Eurokódy) úzce souvisí, a vyžaduje tak po potenciálních projektantech komplexní znalosti a přehled. Rovněž jsem si zdokonalil a rozšířil dovednosti 3D modelování v programu AutoCAD a statické analýzy v programu Scia Engineer.

Domnívám se, že cíl a zadání práce byly splněny. Při návrhu a posudku byly použity platné technické normy včetně jejich změn a národních dodatků a také odborná literatura.

### Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Antonínu Lokajovi, Ph.D. za projevenou ochotu, vstřícnost, trpělivost a také za odborné rady a podnětné připomínky při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za to, že mě zplodili, a za ustavičnou, již 25 let trvající a stále neutuchající, podporu.

## ZDROJE

- [1] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03310-4.
- [2] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 1: navrhování a konstrukční materiály*. Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Zlín: KODR, c1998. ISBN 80-238-2620-4.
- [3] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 2: navrhování detailů a nosných systémů*. Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004. ISBN 80-86769-13-5.
- [4] NEUFERT, Ernst. *Navrhování staveb: zásady, normy, předpisy o zařízeních, stavbě, vybavení, nárocích na prostor, prostorových vztazích, rozměrech budov, prostorech, vybavení, přístrojích z hlediska člověka jako měřítko a cíle*. 2. české vyd. Přeložil Pavel SCHIER. Praha: Consultinvest, 2000. ISBN 80-901486-6-2.
- [5] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [6] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [7] ČSN EN 1991-1-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [8] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [9] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [10] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [11] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [12] ČSN EN 1993-1-2. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2006.

- [13] ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [14] ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [15] ČSN EN 1995-1-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [16] *Dřevěné vazníky a konstrukce se styčnickovou deskou* [online]. [cit. 2016-08-22]. Dostupné z: <http://drevene-vazniky.eu/>
- [17] *Časopis stavebnictví* [online]. [cit. 2016-08-22]. Dostupné z: <http://casopisstavebnictvi.cz>
- [18] *Sněhová mapa* [online]. 2010 [cit. 2016-09-25]. Dostupné z: <http://snehovamapa.cz>
- [19] *Geologická mapa* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://geology.cz>
- [20] *Systém konstrukčních táhel Macalloy* [online]. 2014 [cit. 2016-10-22]. Dostupné z: <http://tension.cz>
- [21] *BOVA katalog spojovacích prostředků* [online]. 2014 [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: <http://bova-nail.cz>

## **SOFTWARE**

Microsoft Word 2010

Microsoft Excel 2010

AutoCAD 2014

Scia Engineer 15.2

Malování

Adobe Acrobat Pro DC 2015

Zoner Photo Studio 17

# PŘÍLOHY

## Výkresová dokumentace:

01	Architektonická studie – půdorys	1:200	A3
02	Architektonická studie – pohledy	1:200	A3
03	Výkres konstrukčních prvků	1:100	A1
04	Patní kloub	1:15	A3
05	Rámový roh	1:15	A4
06	Vrcholový kloub	1:10	A4
07	Přípoj rozpěry a táhla k příčli	1:10	A4
08	Výkres výztuže železobetonové patky	1:30	A4